
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ

Επιβλέπων καθηγητής: Φυτίκας Μιχαήλ

**Διπλωματική εργασία του: Καραμάνη Ελευθέριου
ΑΕΜ 3210**

Χρήση της αβαθούς γεωθερμίας

Θεσσαλονίκη 2005

Βιβλιοθήκη Θεοφράστους - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	4
Γενικά για την Γεωθερμία.....	4
Αβαθής Γεωθερμία	5
Αρχές.....	5
Τρόποι εκμετάλλευσης	6
Σύγκριση με άλλες -συμβατικές ή μη- μεθόδους θέρμανσης και ψύξης.....	8
Κόστος εγκατάστασης - λειτουργίας - συντήρησης	11
Παραδείγματα από εφαρμογές της μεθόδου	14
Α. Παραδείγματα από τον Ελληνικό χώρο	
Δημαρχείο Πυλαίας Θεσσαλονίκης	14
Ιδιόκτητο κτίσμα στον Αγ. Δημήτριο Κορωπίου Αττικής.....	17
Β. Σύντομες αναφορές σε παραδείγματα από τις ΗΠΑ	
Waterfront Office Building, Louisville Kentucky USA	23
Sagamore Resort, Lake George, New York, USA.....	23
Γ. Εκτιμήσεις και άλλα ενδιαφέροντα στοιχεία από το	
Geothermal Heat Pump Consortium	23
Η τεχνολογία Enercret.....	26
Η τεχνολογία Enercret	26
Δείγματα εφαρμογής τεχνολογίας Enercret	
Norddeutsche Landesbank	28
Pago.....	30
Columbus Center	31
Bregenz Arts Centre.....	33
Administrative Building.....	35
Keble College Oxford	37
Παράρτημα Α	41
Στάδια μελέτης για εγκατάσταση Enercret	41
Δείγματα εντύπων (φορμών) για εκπόνηση μελέτης εγκατάστασης Enercret	43
Παράρτημα Β	45
Ορολογία - Προδιαγραφές	45

Ενδεικτικές τιμές για διάφορες γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	46
Σχεδιαγράμματα	48

Βιβλιογραφία 50

Βιβλιογραφία	50
Διευθύνσεις Παγκόσμιου ιστού	53

Εισαγωγή

Γενικά για την Γεωθερμία

Με τον όρο Γεωθερμία ονομάζουμε την θερμική ενέργεια η οποία υπάρχει στο εσωτερικό της γης. Η θερμότητα αυτή, η κατανομή, η ροή και οι μεταβολές της, είναι υπεύθυνες για την γένεση και εξέλιξη πολλών γεωλογικών φαινομένων σε πλανητική κλίμακα (κίνηση λιθοσφαιρικών πλακών, ηφαιστειακή δραστηριότητα, μαγματική δράση, μεταμόρφωση πετρωμάτων).

Πηγή της θερμότητας αυτής είναι η θερμική κατάσταση του πυρήνα και του μανδύα της γης, καθώς και η διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων που βρίσκονται κατανεμημένα στον πυρήνα και τον μανδύα. Η γεωθερμική ενέργεια κάνει έντονα την εμφάνισή της σε σχετικά μεγάλα -κατά κανόνα- βάθη (άνοδος θερμοκρασίας 1°C ανά 33 m είναι η ομαλή γεωθερμική βαθμίδα), εκτός από περιπτώσεις που έχουμε είτε τοπική άνοδο μανδυακού υλικού (και μετάδοση της θερμότητας σε στρώματα του φλοιού) ή κάθοδο -δια μέσου ρωγμών- επιφανειακού νερού το οποίο μεταφέρει την υπόγεια θερμότητα σε μικρότερα βάθη.

Αλλά, ακόμη και σε σχετικά μικρά βάθη (πολλές φορές μικρότερα των 20 m), υπάρχει ένα αρκετά σημαντικό -για τα ανθρώπινα μέτρα- ενεργειακό φορτίο το οποίο βρίσκεται αποθηκευμένο στο έδαφος, και οφείλεται στην μεγάλη θερμοχωρητικότητα των πετρωμάτων και στην ικανότητά τους να αποθηκεύουν τα μεγάλα ποσά της θερμότητας που δέχονται συνεχώς από τα βαθύτερα στρώματα.

Πολλές φορές, με τον όρο γεωθερμία να αναφερόμαστε μόνο σε εκείνο το τμήμα της θερμικής ενέργειας της γης του οποίου είναι δυνατή η εκμετάλλευση, ή και εκμεταλλεύεται ήδη από τον άνθρωπο. Έτσι, στην συνέχεια, λέγοντας γεωθερμία -και γεωθερμική ενέργεια- θα αναφερόμαστε σε αυτή ακριβώς την έννοια του όρου, αφού είναι και αυτή που μας ενδιαφέρει άμεσα για τον σκοπό της παρούσης μελέτης.

Αβαθής γεωθερμία

Αρχές

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια προέρχεται κυρίως (80-90%)ⁱ από την ροή της ενδογήινης θερμότητας -η οποία προέρχεται από το θερμό εσωτερικό της γης- προς τα επιφανειακά εδαφικά στρώματα. Σε μικρά -τελείως επιφανειακά- βάθη (<20 m) έχουμε και επιπρόσθετη ενέργεια από διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το έδαφος (κυρίως τις θερμές εποχές του έτους), η οποία αποθηκεύεται σε ποσοστό περίπου 47%ⁱⁱ του συνόλου της προσπίπτουσας στο έδαφος ενέργειας, και αποτελεί το επιπρόσθετο 10-20% του συνολικού ενεργειακού φορτίου του εδάφους. Δύο παράγοντες συντελούν στην ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει την θερμότητα:

- Η μεγάλη θερμοχωρητικότητα του εδάφους και γενικά των πετρωμάτων,
- Αν και υπάρχει απώλεια θερμότητας προς την ατμόσφαιρα (με ακτινοβολία), αυτό γίνεται όμως με αργό ρυθμό.

Όλα αυτά αποτελούν και τον κύριο παράγοντα της διατήρησης μιας σταθερής μέσης θερμοκρασίας στο υπέδαφος μετά από ένα ορισμένο βάθος το οποίο έχει βρεθεί ότι είναι στα 10-20 m. Η αβαθής γεωθερμία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της θερμικής κατάστασης που παρουσιάζεται στο μικρό αυτό βάθος, όπου έχουμε πρακτικά σταθερή θερμοκρασία καθ' όλη την διάρκεια του έτους, ανεξάρτητα από την θερμοκρασία της επιφάνειας. Στον Ελλαδικό χώρο -στην περιοχή της Αττικής- έχει μετρηθεί ότι η θερμοκρασία αυτή είναι 18-20°C. Στην Κεντρική Ευρώπη είναι χαμηλότερη (γύρω στους 13°C) ενώ σε βορειότερες χώρες (Σουηδία) είναι ακόμη πιο χαμηλή. Κάτω από το βάθος αυτό των 20 m έχουμε και την προσθετική επίδραση της γήινης γεωβαθμίδας (1°C ανά 33 m κατά μέσο όρο).

Για να δημιουργηθεί σαφής και ολοκληρωμένη εικόνα της υπεδαφικής θερμικής κατάστασης μιας περιοχής, λαμβάνονται πάντοτε υπ' όψη και οι

εκάστοτε εδαφολογικές συνθήκες-ιδιαιτερότητες, η γεωλογική δομή και διάταξη των πετρωμάτων, η θερμική αγωγιμότητά τους και οι υδρολογικές συνθήκες της περιοχής.

Τρόποι εκμετάλλευσης

Η βασική ιδέα για την εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας συνίσταται:

- στην **απαγωγή** της εδαφικής θερμότητας μέσω ενός συστήματος το οποίο αποτελείται από κάποιο ρευστό (συνήθως νερό) που κυκλοφορεί σε σύστημα σωληνώσεων που τοποθετούνται μέσα στο έδαφος, και το οποίο ονομάζεται **γεωεναλλάκτης**
- στην **αναβάθμισή** της -όταν κρίνεται αναγκαίο- μέσω μιας **αντλίας θερμότητας**, και
- στην συνέχεια **μεταφορά** της μέσω **συστήματος σωληνώσεων ή fancoils** που καταλήγουν σε δίκτυο δαπέδου (επιδαπέδιο), οροφής, τοίχων, ή ακόμη και σε συμβατικά σώματα (καλοριφέρ) τα οποία έχουν ενσωματωμένο ανεμιστήρα για την διασπορά της θερμότητας, και χρήση της για την θέρμανση του κτιρίου.

Εναλλακτικά, η αρχή αυτή χρησιμοποιείται και για ψύξη, με μεταφορά της θερμότητας απευθείας από την επιφάνεια (κτίριο) στο υπέδαφος και διασπορά της εκεί.

Τα τρία αυτά μέρη (γεωεναλλάκτης-αντλία θερμότητας-σύστημα μεταφοράς και διασποράς) απαρτίζουν όλα τα συστήματα (τεχνολογίες) χρήσης της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας. Οι τεχνολογίες εφαρμογής διαφέρουν μεταξύ τους στις επιμέρους -μικρές ή μεγάλες- διαφοροποιήσεις των τμημάτων αυτών: π.χ. χρήση διαφόρων τύπων αντλίας θερμότητας, διαφορετικό σύστημα γεωεναλλάκτη (ανοικτό ή κλειστό σύστημα, ρηχότερες ή βαθύτερες γεωτρήσεις, με μεγαλύτερη οριζόντια ή κατακόρυφη ανάπτυξη), διαφορετικό σύστημα διασποράς της θερμότητας στο κτίριο (επιδαπέδιο, επιτοίχιο, με θερμαντικά σώματα), κλπ.

Υπάρχουν τέσσερις κύριοι τύποι υλοποίησης (τοποθέτησης) του γεωεναλλάκτη:

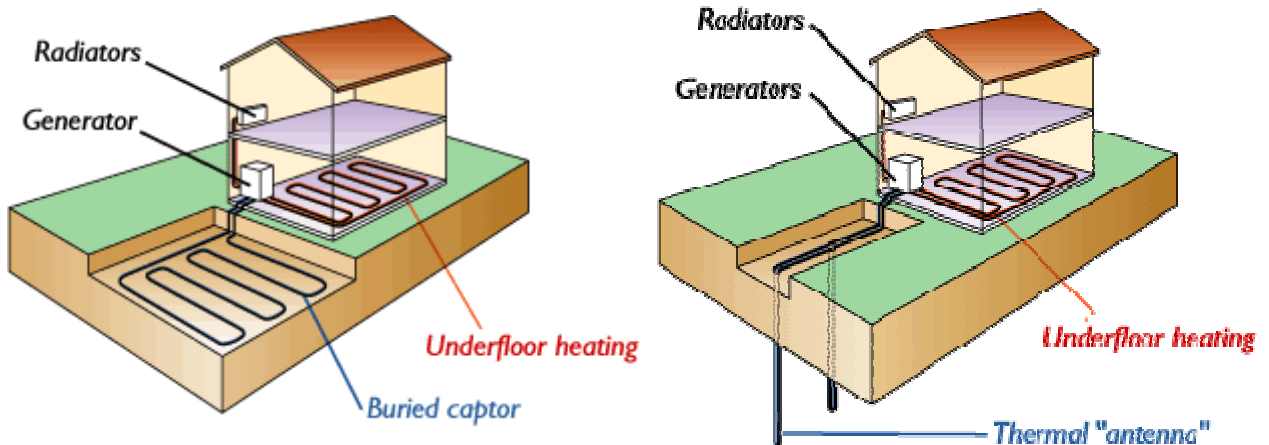
- **Οριζόντιο κύκλωμα**, το οποίο εφαρμόζεται σε περιπτώσεις με αρκετό διαθέσιμο ελεύθερο οριζόντιο χώρο (επιφάνεια),
- **Κατακόρυφο κύκλωμα**, το οποίο είναι πολύ καλή επιλογή όταν έχουμε περιορισμένη διαθέσιμη επιφάνεια, και είναι η συνηθέστερη -ίσως και μοναδική- επιλογή στις πόλεις όπου τα κτίρια έχουν περιορισμένο διαθέσιμο χώρο γύρω τους,
- **Οριζόντιο κύκλωμα σε λίμνη ή θάλασσα**, όπου η τοποθέτηση του εναλλάκτη γίνεται μέσα στον πυθμένα γειτονικής λίμνης ή

θάλασσας (όταν βέβαια η λίμνη ή η θάλασσα βρίσκονται σε μικρή απόσταση). Η διάταξη αυτή είναι ιδιαίτερος οικονομική διότι απαλείφεται το κόστος εκσκαφής, και

- **Ανοικτό κύκλωμα**, το οποίο εκμεταλλεύεται τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα ως άμεση πηγή ενέργειας. Σε ιδανικές συνθήκες αποτελεί το πιο οικονομικό σύστημα. Μοναδικό πρόβλημα στην περίπτωση αυτή είναι η διάθεση του νερού μετά την χρήση.

Από τους παραπάνω τύπους οι συνηθέστεροι στην εφαρμογή είναι το οριζόντιο και το κατακόρυφο κύκλωμα, διότι δεν απαιτούν ειδικές συνθήκες (κοντινή λίμνη ή παρουσία υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα σε μικρό βάθος), ενώ ο πιο διαδεδομένος τύπος είναι αυτός του κατακόρυφου κυκλώματος, ο οποίος είναι και ο μόνος που μπορεί να έχει πρακτική εφαρμογή σε πυκνοκατοικημένες περιοχές λόγω ελλείψεως μεγάλου επιφανειακού χώρου.

Τα δύο παρακάτω σχήματα απεικονίζουν τις δύο διαφορετικές χρήσεις του γεωεναλλάκτη, με οριζόντια ανάπτυξη στην πρώτη περίπτωση, και κατακόρυφη στην δεύτερη. Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε συνδυασμό συστημάτων διασποράς της θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου (επιδαπέδιο -underfloor- και με τη χρήση θερμαντικού σώματος -Radiator-).



Τα συστήματα που βασίζονται στην χρήση της αβαθούς γεωθερμίας αναφέρονται διεθνώς με το όνομα **Geothermal heat pump systems** (συστήματα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας) ή και **Georexchange** (γεωεναλλακτικά συστήματα, γεωεναλλάκτες, συστήματα γεωεναλλαγής).



Γεωεναλλάκτης οριζόντιου τύπου

Σύγκριση με άλλες -συμβατικές ή μη- μεθόδους θέρμανσης και ψύξης

Οι συμβατικές μέθοδοι θέρμανσης βασίζονται κυρίως στην παραγωγή θερμότητας με την κατανάλωση κάποιας καύσιμης ύλης, και εν συνεχεία στην μεταφορά της παραγόμενης από την καύση θερμότητας μέσω κάποιου ρευστού (κυρίως νερού ή λαδιού) στον χώρο που προορίζεται για θέρμανση. Η καύσιμη ύλη είναι συνήθως πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Επίσης, υπάρχει και η περίπτωση της παραγωγής θερμότητας μέσω ηλεκτρικής ενέργειας, με την χρήση κάποιας ηλεκτρικής αντίστασης. Λόγω του μετρίου-μικρού κόστους εγκατάστασης, λειτουργίας, συντήρησης, και της μεγάλης διαθεσιμότητάς τους στην αγορά, οι μέθοδοι θέρμανσης που βασίζονται στην καύση είναι οι ευρύτερα διαδεδομένες. Παρ' όλα αυτά, παρουσιάζουν ορισμένα πολύ σοβαρά μειονεκτήματα:

- Υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος έκρηξης και πυρκαγιάς, ειδικά στην περίπτωση του φυσικού αερίου, σε περίπτωση εσφαλμένης εγκατάστασης ή ελλιπούς συντήρησης που θα οδηγήσει σε δυσλειτουργία του συστήματος. Έτσι επιβάλλεται η πρόσθετη εγκατάσταση (και στη συνέχεια συντήρηση) συστημάτων ασφάλειας (ανίχνευσης καπνού και πυρόσβεσης), τα οποία αυξάνουν κατά πολύ το τελικό κόστος.

- Στην περίπτωση των συστημάτων που βασίζονται στην καύση του πετρελαίου (τα οποία έχουν την μεγαλύτερη εξάπλωση στην Ελλάδα) έχουμε την παραγωγή βλαβερών υποπροϊόντων τα οποία εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα σε αέρια μορφή, με κυριότερο το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), ως αποτέλεσμα ατελούς καύσης.
- Η απόδοσή τους βρίσκεται σε μέτρια επίπεδα.
- Μειώνουν την ενεργειακή αυτονομία σε κρατικό επίπεδο, αφού απαιτούν μεγάλες ποσότητες καυσίμου για την λειτουργία τους.
- Η θέρμανση μέσω ηλεκτρικής αντίστασης είναι οικονομικά ποιο ασύμφορη ακόμα και από τα υπόλοιπα συμβατικά συστήματα. Δεν έχουμε βέβαια τον κίνδυνο έκρηξης, αλλά υπάρχει (έστω και μικρός) ο κίνδυνος πυρκαγιάς.

Οι μη-συμβατικές μέθοδοι θέρμανσης και ψύξης βασίζονται στην παραγωγή ψύξης-θέρμανσης με την βοήθεια ηλεκτρικής ενέργειας μέσω εξάτμισης-συμπίεσης κάποιου ρευστού (κλιματιστικό - air condition) το οποίο μεταφέρει -αντί να παράγει- την εξωτερική θερμότητα στον εσωτερικό χώρο (για θέρμανση) αλλά και το αντίστροφο (για ψύξη). Τα κλιματιστικά αυτά συστήματα, τα οποία βασίζονται σε απλή αντλία θερμότητας αέρα, είναι 1.5 με 3 φορές πιο αποδοτικά από την θέρμανση με ηλεκτρική αντίσταση. Εδώ έχουμε το εξής μειονέκτημα:

- Η θέρμανση-ψύξη μέσω κλιματιστικού έχει σχετικά χαμηλή απόδοση (1 προς 1,5 έως 3). Αυτό οφείλεται στο ότι όταν η ανάγκη για θέρμανση είναι μεγαλύτερη (κυρίως τον χειμώνα), η εξωτερική θερμοκρασία είναι συνήθως χαμηλή, οπότε το έργο του κλιματιστικού είναι δυσκολότερο αφού προσπαθεί να απάγει και να μεταφέρει θερμότητα από ένα ήδη ψυχρό εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό. Αντιστρόφως, όταν η ανάγκη για ψύξη είναι μεγαλύτερη, η εξωτερική θερμοκρασία είναι συνήθως υψηλή, οπότε το κλιματιστικό προσπαθεί να μεταφέρει την θερμότητα από το εσωτερικό σε ένα ήδη θερμό εξωτερικό περιβάλλον. Ως λύση στην περίπτωση της θέρμανσης προσφέρεται η υποβοήθηση του κλιματιστικού με κάποια ηλεκτρική αντίσταση, πράγμα το οποίο ανεβάζει πολύ το κόστος λειτουργίας.

Τα συστήματα της αβαθούς γεωθερμίας, δεδομένου ότι βασίζονται στην μεταφορά της θερμότητας από και προς το υπέδαφος, δεν έχουν τα παραπάνω μειονεκτήματα, αλλά αντίθετα παρουσιάζουν μια σειρά πολύ σημαντικών πλεονεκτημάτων:

- Έχουν οικολογικά άριστη συμπεριφορά, και δεν έχουν κανένα παράγοντα μόλυνσης.
- Είναι εξαιρετικά πιο ασφαλή αφού δεν υπάρχει κίνδυνος έκρηξης ή πυρκαγιάς.

- Έχουν μεγαλύτερο αρχικό κόστος εγκατάστασης από τα συμβατικά συστήματα καύσης (λόγω του κόστους της εγκατάστασης του γεωθερμικού εναλλάκτη), αλλά πολύ μικρότερο κόστος συντήρησης. Επίσης, επειδή χρησιμοποιούνται και για ψύξη δεν απαιτούν το πρόσθετο κόστος της εγκατάστασης ξεχωριστής μονάδας ψύξης όπως στην περίπτωση των συμβατικών συστημάτων καύσης.
- Έχουν πολύ καλύτερες αποδόσεις από τα προαναφερθέντα συστήματα (1 προς 3 έως 5). Συγκεκριμένα, σύμφωνα με μελέτη της EPA (Environmental Protection Agency)ⁱⁱⁱ, τα συστήματα αυτά της «γεωεναλλαγής» παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση και αποτελεσματικότητα από οποιοδήποτε άλλο σύστημα το οποίο στηρίζεται σε τεχνολογία καυσίμου. Έτσι, είναι κατά μέσο όρο 48 % αποδοτικότερα ακόμη και από το πιο σύγχρονο σύστημα φυσικού αερίου, ενώ είναι 75 % πιο αποδοτικά από συστήματα που βασίζονται στο πετρέλαιο. Ξεπερνούν σε απόδοση ακόμη και την καλύτερη τεχνολογία που βασίζεται στο φυσικό αέριο (την αντλία θερμότητας με φυσικού αερίου) κατά μέσο όρο 36 % σε περίπτωση θέρμανσης και 43 % σε περίπτωση ψύξης. Η συγκριτική τους απόδοση με τις αντλίες θερμότητας αέρα (κλιματιστικά) είναι 40 % καλύτερη, ενώ για εκείνες τις περιπτώσεις όπου απαιτείται και πρόσθετη θέρμανση του αέρα με ηλεκτρική αντίσταση (όταν η απόδοση του κλιματιστικού δεν επαρκεί) το ποσοστό ξεπερνά το 70%^{iv}.

Υπολογίζεται (τα δεδομένα αφορούν εγκαταστάσεις στις Η.Π.Α.) ότι το οικονομικό όφελος από την εφαρμογή γεωεναλλακτών σε ιδιωτικές κατοικίες είναι της τάξης 30-70 % στην θέρμανση και 20-50 % στην ψύξη.



Αντλία Θερμότητας (heat pump)

Κόστος εγκατάστασης - Λειτουργίας - συντήρησης

Ενδεικτικές τιμές για το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας, μπορούμε να δούμε στα παρακάτω δύο παραδείγματα από τον Ελληνικό χώρο και ένα από τις ΗΠΑ τα οποία αφορούν εγκαταστάσεις που καλύπτουν ανάγκες ιδιόκτητων κατοικιών.

Από τα οικονομικά στοιχεία εγκατάστασης συστήματος αβαθούς γεωθερμίας **κατακόρυφου κυκλώματος** στην Αττική το έτος 1993 έχουμε τα εξής:

Η απαραίτητη γεωθερμική εγκατάσταση για μια κατοικία (ή ένα χώρο εργασίας) εμβαδού 150 m² παρουσιάζει το εξής -περίπου- κόστος:

150 m γεώτρησης και γεωθερμικού εναλλάκτη	1.500.000 δρχ.	4402 €
Αντλία θερμότητας 15 kW	1.000.000 δρχ.	2935 €
Κλιματιστικά σώματα fan-coils και σωληνώσεις	500.000 δρχ.	1467 €
Boiler 200 λίτρων	300.000 δρχ.	880 €
Αυτοματισμοί	200.000 δρχ.	587 €

Σύνολο	3.500.000 δρχ.	10271 €
--------	----------------	---------

Το κόστος εγκατάστασης του γεωθερμικού συστήματος είναι 68,5 €/m². Μία συνηθισμένη κλιματιστική εγκατάσταση του ίδιου μεγέθους, που λειτουργεί με πηγή θερμότητας τον περιβάλλοντα αέρα (αντλία θερμότητας αέρα-νερού), θα είχε κόστος μειωμένο κατά τις δαπάνες της γεώτρησης και του γεωθερμικού εναλλάκτη, δηλαδή κατά 4400 € περίπου. Το κόστος της εγκατάστασης αυτής θα ήταν 5869 € το οποίο μας δίνει 39,1 €/m². Όμως, η γεωθερμική εγκατάσταση έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Μικρότερη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος κατά 50% περίπου.
2. Η αντλία θερμότητας νερού-νερού είναι απλούστερη από την αντίστοιχη αέρα-νερού και επομένως έχει μικρότερα έξοδα συντήρησης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.
3. Παρέχει δωρεάν ζεστό νερό το καλοκαίρι και με πολύ μικρό κόστος τις άλλες εποχές.

Ο Κ.Σ.Τσίππρας δίνει το παρακάτω παράδειγμα για τον υπολογισμό κόστους σε ένα γεωθερμικό σύστημα **οριζόντιου τύπου εναλλάκτη**, που αφορά δύο εφαπτόμενες μεζονέτες στην περιοχή της Αττικής, συγκρίνοντάς το με το αντίστοιχο κόστος ενός συστήματος που χρησιμοποιεί συμβατική μέθοδο για θέρμανση και κλιματιστικό αέρα-αέρα για ψύξη:

Συνολική έκταση 400 m², αναγκαία ισχύς θέρμανσης 22 kW, αναγκαία ισχύς ψύξης 24 kW, ετήσια απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης 44.000 kWh, ετήσια απαιτούμενη ενέργεια ψύξης 25.000 kWh.

	Αρχικό Κόστος	Κόστος λειτουργίας
Συμβατικό σύστημα	16.060 €	3236 €
Γεωθερμικό σύστημα	23.344 €	1424 €

Ο υπολογισμός του κόστους λειτουργίας έγινε με τιμή πετρελαίου 0,33 €/lt και τρέχουσες τιμές (1992?) kWh από την ΔΕΗ. Είναι σαφές ότι το γεωθερμικό σύστημα έχει σημαντικά μειωμένο κόστος λειτουργίας και η αρχική διαφορά κόστους αποσβένεται μέσα σε οκτώ έτη λειτουργίας. Το κόστος ανά m² είναι 3,56 € ανά έτος (0,296 €/m²μήνα).

Το επόμενο παράδειγμα είναι από τις ΗΠΑ και αφορά την ιδιωτική οικία Palmer, East Hampton, Connecticut. Το κτίριο αποτελείται από δύο ορόφους με συνολικό εμβαδόν 278 m², αλλά με συνυπολογισμό των βοηθητικών χώρων η συνολική έκταση που εξυπηρετείται από την κλιματιστική εγκατάσταση είναι τελικά 329 m². Υπάρχει επαρκής θερμική μόνωση στους χώρους του κτιρίου και έτσι ελαχιστοποιούνται τυχόν απώλειες. Οι μέγιστες απαιτήσεις (peak values) του κτιρίου για θέρμανση είναι 49614 Btu/hr (14,5 kW) και για ψύξη είναι 30568 Btu/hr (9 kW).

Το κόστος του γεωεναλλάκτη ήταν 8.472 \$ και ο υπόλοιπος εξοπλισμός (αντλία θερμότητας, άλλες σωληνώσεις και σύνδρομα έργα) στοίχισε

10.541 \$. Ο μέσος όρος του κόστους για την λειτουργία του συστήματος είναι 93,52 \$/μήνα, το οποίο μας δίνει ένα κόστος 0,284 \$/m² τον μήνα.

Συμπεράσματα:

Συγκρίνοντας τα παραπάνω παραδείγματα βλέπουμε **παρόμοιες τιμές** στα κόστη του συστήματος αντλίας αέρα-νερού -της πρώτης περίπτωσης- το οποίο είναι 39,1 €/m², με το συμβατικό σύστημα -της δεύτερης περίπτωσης- (το οποίο αποτελείται όμως από σύστημα αντλίας αέρα-αέρα για την ψύξη) το οποίο είναι 40,2 €/m². Όμως, οι τιμές **διαφέρουν σημαντικά** για το γεωθερμικό σύστημα: 68,5 €/m² για την πρώτη περίπτωση, 58,36 €/m² για την δεύτερη και 57,8 \$/m² στην περίπτωση του παραδείγματος από ΗΠΑ. Η διαφορά αυτή οφείλεται στους διαφορετικούς τύπους γεωεναλλάκτη που έχουν χρησιμοποιηθεί στις δύο περιπτώσεις - από Ελλάδα- (κατακόρυφο σύστημα με γεωτρήσεις που έχουν φυσικά αυξημένο κόστος στην πρώτη περίπτωση και οριζόντιο σύστημα στην δεύτερη), ενώ στην περίπτωση του παραδείγματος από τις ΗΠΑ το κόστος εγκατάστασης είναι σημαντικά πιο μικρό, λόγω της μεγάλης διάδοσης που έχει η μέθοδος του γεωεναλλάκτη στην χώρα αυτή. Το κόστος λειτουργίας του γεωθερμικού συστήματος είναι 0,296 €/m² ανά μήνα στην περίπτωση του Ελληνικού παραδείγματος και 0,284 \$/m² ανά μήνα στο παράδειγμα από τις ΗΠΑ. Πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι το μεν πρώτο χρησιμοποιεί οριζόντια διάταξη γεωεναλλάκτη ενώ το δεύτερο κατακόρυφη (η οποία έχει πιθανώς υψηλότερη απόδοση) καθώς και το γεγονός ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις του Ελληνικού κτιρίου είναι υψηλότερες (0,055 kW/m² για την θέρμανση και 0,06 kW/m² για την ψύξη) από τις αντίστοιχες του κτιρίου των ΗΠΑ (0,044 kW/m² για την θέρμανση και 0,027 kW/m² για την ψύξη) πράγμα το οποίο πιθανόν να οφείλεται στην πολύ καλή θερμική μόνωση και ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών του δεύτερου.

ⁱ Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο «Η πρώτη στην Ελλάδα κατοικία με γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού», Ι. Παπαγεωργάκης Καθηγητής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας Ε.Μ.Π., Αθήνα 1993, σελ. 7-8.

ⁱⁱ Geothermal Heat Pump Consortium, GB-019, "Geoexchange Systems: Renewable and Ready".

ⁱⁱⁱ EPA, Space Conditioning: The Next Frontier, Office and Air Radiation, 430-R-93-004 (4/93)

^{iv} Geothermal Heat Pump Consortium, GB-019, "Geoexchange Systems: Renewable and Ready".

Παραδείγματα από εφαρμογές της μεθόδου

Α. Παραδείγματα από τον Ελληνικό χώρο

Δημαρχείο Πυλαίας Θεσσαλονίκης

Η μελέτη και κατασκευή του συστήματος αυτού έγινε από τον Ενεργειακό Τομέα του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΑΠΘ με την συνεργασία των εταιρειών ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ ΟΕ και ΠΟΣΕΙΔΩΝ ΑΕ.

Αποτελείται από το «πρίσμα» της γης κάτω από τον πεζόδρομο, εμπρός από το νέο Δημαρχείο Πυλαίας -το οποίο εγκαινιάσθηκε τον Σεπτέμβριο του 2003-, και έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Χρησιμοποιηθείσα επιφάνεια: $15 \times 30 \text{ m}$ (450 m^2)

Βάθος: 80 m

Όγκος: 36000 m^3

Αποτελείται από 21 «τυφλές» γεωτρήσεις βάθους 80 m, σε κάναβο $4,5 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}$ και διαμέτρου 160 mm. Στις γεωτρήσεις τοποθετήθηκε αγωγός πολυαιθυλενίου μέσης πυκνότητας (PE-MD) διαμέτρου 40 mm σχήματος U και στη συνέχεια έγινε έγχυση τσιμεντοκονιάματος (95% τσιμέντο - 5% μπετονίτης) προκειμένου να εξασφαλισθεί η θερμική αγωγιμότητα μεταξύ των σωλήνων και του περιβάλλοντος υπεδάφους, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα και την προστασία του πλαστικού αγωγού. Το συνολικό μήκος σωληνώσεων είναι 3500 m περίπου.

Στο πρωτεύον αυτό κύκλωμα του γεωεναλλάκτη κυκλοφορεί αποσκληρυμένο νερό και τροφοδοτεί τις αντλίες θερμότητας. Η

κυκλοφορία του νερού στις γεωτρήσεις εξασφαλίζεται μέσω αντλίας-κυκλοφορητή κατασκευής WILCO.

Το δευτερεύον κύκλωμα των αντλιών θερμότητας τροφοδοτεί τοπικούς εναλλάκτες αέρος-νερού (fan-coils) οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στους προς κλιματισμό χώρους του κτιρίου.

Ο Γεωεναλλάκτης Πυλαίας τέθηκε σε λειτουργία το Σεπτέμβριο του 2002, και είναι σε θέση να προσφέρει ενέργεια για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου του Νέου Δημαρχείου, το οποίο έχει συνολικό εμβαδόν 2500 m² (συνολικός όγκος 7500 m³). Οι χώροι του κτιρίου υποδιαιρούνται σε 7 ζώνες θερμοκρασίας και για τον κλιματισμό χρησιμοποιείται συγκρότημα αντλιών θερμότητας νερού-νερού κατασκευής Climaveneta. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά οι τύποι και η αντίστοιχη ονομαστική ισχύς θέρμανσης και ψύξης των αντλιών θερμότητας του συγκροτήματος:

ΤΥΠΟΣ	ΤΕΜΑΧΙΑ	ΙΣΧΥΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ (kW)	ΙΣΧΥΣ ΨΥΞΗΣ (kW)
HRHN 0061	2	16,2	17,2
HRHN 0071	1	20,3	21,3
HRHN 0091	5	24,3	25,6
HRHN 0101	2	28,1	29,7
HRHN 0121	1	35,0	37,0
ΣΥΝΟΛΟ	11	265,4	280,1

Μετά από την συμπλήρωση 12 μηνών από την έναρξη λειτουργίας του συστήματος, έχουν συμπληρωθεί αρκετές καταγραφές ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για την απόδοση του συστήματος καθώς και την σύγκρισή του με αντίστοιχο συμβατικό και μη σύστημα θέρμανσης - ψύξης. Έτσι για λόγους σύγκρισης υπολογίσθηκε η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την περίπτωση όπου αντί για το γεωθερμικό σύστημα (γεωεναλλάκτης και αντλίες νερού-νερού - W/W) είχε υιοθετηθεί η λύση συστήματος αντλιών θερμότητας αέρα-νερού (A/W). Επίσης υπολογίσθηκε η ενεργειακή κατανάλωση και για την περίπτωση όπου το μεν σύστημα θέρμανσης θα ήταν σύγχρονος λέβητας πετρελαίου με βαθμό απόδοσης 90% (καύσιμο diesel -DIE) ενώ το σύστημα ψύξης θα ήταν αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα (A/A). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους δύο παρακάτω πίνακες (ο πρώτος για την θέρμανση και ο δεύτερος για την ψύξη):

ΜΗΝΑΣ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ		
	W/W (kWh)	A/W (kWh)	DIE (kWh)
12-2002	1192	1548	2355
01-2003	2001	2452	3567
02-2003	6383	7750	9940
03-2003	2287	2691	3843
04-2003	1179	1439	2098
05-2003	0	0	0
06-2003	0	0	0
07-2003	0	0	0
08-2003	0	0	0
09-2003	0	0	0
10-2003	817	1070	1640
11-2003	690	913	1418
ΣΥΝΟΛΟ	15803	19520	27422

Και για ψύξη:

ΜΗΝΑΣ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ		
	W/W (kWh)	A/W (kWh)	A/A (kWh)
12-2002	3	4	5
01-2003	69	91	124
02-2003	0	0	0
03-2003	0	0	0
04-2003	67	101	133
05-2003	3221	4707	5941
06-2003	12522	15953	19357
07-2003	17591	19184	23508
08-2003	14800	16603	20257
09-2003	15178	17998	22974
10-2003	9	11	15
11-2003	63	78	104
ΣΥΝΟΛΟ	63555	74771	92474

Από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του Πίνακα 1 (θέρμανση) είναι σαφές ότι η επιλογή συμβατικού συστήματος λέβητα είναι η δυσμενέστερη περίπτωση καθώς η κατανάλωση ενέργειας είναι 73,5%

περισσότερη από αυτή του συστήματος με τον γεωεναλλάκτη. Αλλά και το σύστημα αντλίας αέρα-νερού έχει αυξημένη κατανάλωση ενέργειας κατά 23% σε σχέση με το γεωθερμικό σύστημα. Μάλιστα, τα αποτελέσματα θα ήταν ακόμη πιο ευνοϊκά για το σύστημα του γεωεναλλάκτη αν ο χειμώνας ήταν λιγότερο ήπιος, δεδομένου ότι ενώ οι επιπτώσεις στην απόδοση του συστήματος αυτού -του γεωεναλλάκτη- θα ήταν αμελητέες (αφού δεν επηρεάζονται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα), οι αντίστοιχες επιπτώσεις στην απόδοση των αντλιών αέρα-νερού θα ήταν σημαντικά μεγαλύτερες (αφού εξαρτώνται από την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος).

Από τα στοιχεία του Πίνακα 2 (ψύξη) προκύπτει ότι το γεωθερμικό σύστημα είναι οικονομικότερο κατά 17,6% από το αντίστοιχο σύστημα αντλιών αέρα-νερού και κατά 45,5% από το σύστημα αντλιών αέρα-αέρα.

Ιδιόκτητο κτίσμα στον Αγ. Δημήτριο Κορωπίου Αττικής



Η μελέτη και κατασκευή του πιλοτικού αυτού έργου έγιναν από το Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο σε συνεργασία με την εταιρεία Intrklima ΕΛΛΑΣ Α.Β.Ε.Ε. Ο χρόνος μελέτης-κατασκευής ήταν Ιούνιος 1992-Ιούνιος 1993.

Το οίκημα (το οποίο ανήκει στον κ. Γ. Σκαρπαθιώτη) αποτελείται από δύο διαμερίσματα: ένα ισόγειο, εμβαδού 130 m^2 και ένα στον πρώτο όροφο, εμβαδού 125 m^2 . Το έργο στόχευε (σε πρώτο στάδιο) στην κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών του οικήματος για θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού. Η ισχύς των αναγκών θέρμανσης και των δύο διαμερισμάτων υπολογίστηκε σε 15 kW .



Η γεωθερμική εγκατάσταση αποτελείται από τέσσερα τμήματα:

- i. Τον γεωθερμικό εναλλάκτη, κλειστού τύπου, ο οποίος είναι τοποθετημένος σε γεώτρηση και τροφοδοτεί την αντλία θερμότητας με νερό σταθερής θερμοκρασίας 18°C περίπου.
- ii. Την γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού-νερού, που παράγει ζεστό νερό 50°C για θέρμανση, κρύο νερό 10°C για ψύξη, και ζεστό νερό 50°C για το Boiler.
- iii. Τα κλιματιστικά σώματα (fan coils) της Interklima που λειτουργούν με κυκλοφορία ζεστού ή κρύου νερού και χρησιμοποιούνται για την θέρμανση-ψύξη των δωματίων.
- iv. Το Boiler, στο οποίο αποθηκεύεται ζεστό νερό για τις ανάγκες της κατοικίας.

Για να καλυφθούν οι ανάγκες θέρμανσης-ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού της κατοικίας θα χρειαζόντουσαν:

- i. Δύο γεωθερμικοί εναλλάκτες μήκους 70 m ο καθένας ή ένας μήκους 140 m, και
- ii. Αντλία θερμότητας ισχύος 15 kW.

Για οικονομικούς λόγους κατασκευάστηκε ένας γεωθερμικός εναλλάκτης μήκους (βάθους) 60 m και τοποθετήθηκε αντλία θερμότητας ισχύος 5-7 kW.



Ο γεωθερμικός εναλλάκτης αποτελείται από τέσσερις σωλήνες πολυαιθυλενίου διαμέτρου 3,2 cm που έχουν τοποθετηθεί σε γεώτρηση διαμέτρου 30 cm και βάθους 60m. Στον πυθμένα αυτής οι σωλήνες συνδέονται ανά δύο. Το κενό μεταξύ των σωλήνων και των τοιχωμάτων της γεώτρησης πληρώθηκε με μίγμα μπετονίτη-τσιμέντου-νερού.

Από την έξοδο της γεώτρησης οι τέσσερις σωλήνες -με κάμψη- γίνονται οριζόντιοι, και μέσα από τάφρο βάθους 1 m φθάνουν στο μηχανοστάσιο. Εδώ έχουν ενωθεί ανά δύο, για να καταλήξουν έτσι σε δύο σωλήνες, διαμέτρου 40 cm, ένα για την είσοδο και ένα για την έξοδο του νερού στον εναλλάκτη. Το νερό που κυκλοφορεί στους σωλήνες ονομάζεται φορέας θερμότητας γιατί μεταφέρει την θερμότητα της γης από το υπέδαφος στην αντλία θερμότητας.



Αντλία Θερμότητας



Boiler

Στο μηχανοστάσιο, δωμάτιο το οποίο βρίσκεται στο ισόγειο, βρίσκονται η αντλία θερμότητας και το boiler, καθώς και διάφορα βοηθητικά

όργανα και συσκευές λειτουργίας της εγκατάστασης, όπως δοχείο διαστολής, ηλεκτρικός πίνακας, μετρητές κλπ. Η αντλία θερμότητας νερού-νερού αποτελείται από τέσσερα στοιχεία : τον εξατμιστή, τον συμπιεστή, τον συμπυκνωτή και το στοιχείο εκτόνωσης. Μέσα σ' αυτά κυκλοφορεί φρέον, το οποίο έχει την ιδιότητα να εξατμίζεται και να υγροποιείται εύκολα. Όταν εξατμίζεται ψύχει (απορροφά θερμότητα), ενώ όταν υγροποιείται θερμαίνει (αποδίδει θερμότητα).

Λειτουργία θέρμανσης

Το νερό (φορέας θερμότητας) του γεωθερμικού εναλλάκτη με θερμοκρασία περίπου 15° C εισέρχεται στον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας και προκαλεί την εξάτμιση του φρέον. Η εξάτμιση ψύχει το νερό κατά 5°-6° C το οποίο επιστρέφει ξανά στον γεωθερμικό εναλλάκτη, τον διαρρέει και αποκτά ξανά την θερμοκρασία των 15° C. Επανέρχεται στον εξατμιστή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Με αυτό τον τρόπο μεταφέρεται συνεχώς θερμότητα από το υπέδαφος στον εξατμιστή.

Το εξαερωμένο φρέον οδεύει από τον εξατμιστή στον συμπυκνωτή, όπου συμπιέζεται και υγροποιείται αποδίδοντας έτσι θερμότητα (η υγροποίηση του φρέον θερμαίνει) και ανεβάζοντας την θερμοκρασία του νερού του κυκλώματος θέρμανσης στους 50°-55° C. Στην συνέχεια, το υγροποιημένο φρέον φθάνει στο στοιχείο εκτόνωσης, όπου αποσυμπιέζεται (εκτονώνεται) και αποκτά πάλι την ικανότητα να εξατμιστεί, μόλις περάσει ξανά στον εξατμιστή και έρθει εκ νέου σε επαφή με το νερό του γεωθερμικού εναλλάκτη.

Συνολικά, το νερό του γεωθερμικού εναλλάκτη μεταφέρει θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας (15° C) από τα περώματα του υπεδάφους στο φρέον, το οποίο, με τη βοήθεια του συμπιεστή, την μετατρέπει σε θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας (50°-55° C), κατάλληλη για την θέρμανση της οικίας.

Λειτουργία ψύξης

Κατά την λειτουργία αυτή ακολουθείται αντίστροφη διαδικασία. Η ψύξη που παράγεται στον εξατμιστή διοχετεύεται στο κύκλωμα του νερού της κατοικίας για να τροφοδοτήσει τα κλιματιστικά σώματα (fan-coils) με κρύο νερό. Αυτό, περνώντας από τα δωμάτια θερμαίνεται και επανέρχεται στον εξατμιστή για να ξαναψυχθεί. Το εξαερωμένο φρέον οδεύει στον συμπυκνωτή στον συμπιεστή και μετά στον συμπυκνωτή όπου υγροποιείται αποδίδοντας θερμότητα η οποία όμως θερμαίνει το νερό του γεωθερμικού εναλλάκτη το οποίο στην συνέχεια διοχετεύεται στην γεώτρηση και κρυώνει αποβάλλοντας την θερμότητά του στα πετρώματα του υπεδάφους. Στην συνέχεια επιστρέφει και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Λειτουργία παραγωγής ζεστού νερού

Καθ' όλη την διάρκεια του έτους η γεωθερμική εγκατάσταση μπορεί να παράγει ζεστό νερό χρήσης για την κατοικία. Αυτό επιτυγχάνεται με το ζεστό νερό που παράγει ο συμπυκνωτής. Ένας εναλλάκτης θερμότητας μεταφέρει το νερό αυτό στο νερό του boiler το οποίο στην συνέχεια διοχετεύεται στο κύκλωμα ζεστού νερού της κατοικίας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, όταν στην κατοικία υπάρχει ανάγκη τόσο για ψύξη όσο και για ζεστό νερό, τότε γίνεται συμπαραγωγή ψύξης και ζεστού νερού και η εγκατάσταση εξυπηρετεί δύο χρήσεις και μάλιστα με συντελεστή απόδοσης ο οποίος φτάνει ως 8:1 (δηλαδή ο συμπιεστής της αντλίας θερμότητας καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια ίση με το 1/8 περίπου της συνολικής ενέργειας που παράγει η εγκατάσταση).

Οικονομικά στοιχεία

Με τις σημερινές (1993) ελληνικές συνθήκες της αγοράς, η απαραίτητη γεωθερμική εγκατάσταση για μια κατοικία (ή ένα χώρο εργασίας) εμβαδού 150 m² παρουσιάζει το εξής -περίπου- κόστος:

150 m γεώτρησης και γεωθερμικού εναλλάκτη	1.500.000 δρχ.	4402 €
Αντλία θερμότητας 15 kW	1.000.000 δρχ.	2935 €
Κλιματιστικά σώματα fan-coils και σωληνώσεις	500.000 δρχ.	1467 €
Boiler 200 λίτρων	300.000 δρχ.	880 €
Αυτοματισμοί	200.000 δρχ.	587 €
Σύνολο	3.500.000 δρχ.	10271 €

Μία συνηθισμένη κλιματιστική εγκατάσταση του ίδιου μεγέθους, που λειτουργεί με πηγή θερμότητας τον περιβάλλοντα αέρα (αντλία θερμότητας αέρα-νερού), θα είχε κόστος μειωμένο κατά τις δαπάνες της γεώτρησης και του γεωθερμικού εναλλάκτη, δηλαδή κατά 4400 € περίπου. Όμως, η γεωθερμική εγκατάσταση έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Μικρότερη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος κατά 50% περίπου.
2. Η αντλία θερμότητας νερού-νερού είναι απλούστερη από την αντίστοιχη αέρα-νερού και επομένως έχει μικρότερα έξοδα συντήρησης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.
3. Παρέχει δωρεάν ζεστό νερό το καλοκαίρι και με πολύ μικρό κόστος τις άλλες εποχές.

4. Εκτός από τα κλιματιστικά σώματα (fan-coils) την αντλία θερμότητας και το boiler (τα οποία τοποθετούνται σε ένα δωμάτιο του ισογείου ή του υπόγειου) δεν υπάρχει κανένας άλλος ορατός εξοπλισμός μέσα ή έξω από το κτίριο. Ο γεωθερμικός εναλλάκτης βρίσκεται μέσα στην γεώτρηση και επομένως δεν είναι ορατός.

B. Σύντομες αναφορές σε παραδείγματα από τις ΗΠΑ

Waterfront Office Building, Louisville Kentucky USA

Η εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος στο πολυώροφο αυτό κτίριο ολοκληρώθηκε το 1994. Η κατασκευή αντικατέστησε το προϋπάρχον κλιματιστικό σύστημα.

Ο γεωεναλλάκτης είναι ανοικτού τύπου. Αποτελείται από 4 γεωτρήσεις βάθους 40 m, οι οποίες παρέχουν 2650 lt/min νερού το οποίο προέρχεται από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και έχει θερμοκρασία 14,4° C. Το νερό συγκεντρώνεται σε υπόγεια δεξαμενή χωρητικότητας 564 m³, και στην συνέχεια κατευθύνεται στις αντλίες θερμότητας. Συνολικά 250.000 lt νερού ρέουν στις σωληνώσεις του κτιρίου. Μετά την χρήση του, το νερό απορρίπτεται στον γειτονικό ποταμό Οχάιο.

Sagamore Resort, Lake George, New York, USA

Στην περίπτωση αυτή το γεωθερμικό σύστημα εξυπηρετεί ένα ολόκληρο παραθεριστικό θέρετρο το οποίο αποτελείται από 15 κτίρια, 340 δωμάτια συνολικού εμβαδού 36.232 m² και άλλα 66.000 m² σε συνεδριακούς χώρους. Το έργο είναι αρκετά παλιό (ολοκληρώθηκε στις αρχές του 1980) και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται απέχουν πολύ από το να είναι οι πλέον σύγχρονες. Υπάρχουν 350 αντλίες θερμότητας στις οποίες συνδέεται ο γεωεναλλάκτης συνολικού μήκους 22.860 m ο οποίος βρίσκεται σε 150 γεωτρήσεις βάθους 76,2 m.

Γ. Εκτιμήσεις και άλλα ενδιαφέροντα στοιχεία από το Geothermal Heat Pump Consortium

Η περιβαλλοντική υπηρεσία των ΗΠΑ έχει αναγνωρίσει ότι η χρήση της αβαθούς γεωθερμίας μειώνει σημαντικά τις εκπομπές αερίων που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ παράλληλα είναι οικονομικότερη από όλες τις άλλες μεθόδους θέρμανσης-ψύξης. Για κάθε 100.000 εγκατεστημένα **οικιακά** τέτοια γεωθερμικά συστήματα **μεσαίου μεγέθους** εκτιμάται πως σε διάστημα λειτουργίας 20 ετών θα εξοικονομηθούν περισσότερο από 37,5 τρισεκατομμύρια Btu που αντιστοιχούν σε 2,18 εκατομμύρια τόνους καύσιμου άνθρακα. Η εξοικονόμηση χρημάτων είναι τάξης των 75.000.000 \$.

Ενεργειακή αυτονομία σε κρατικό επίπεδο:

Για κάθε 100.000 γεωθερμικά συστήματα η κατανάλωση (άρα και εισαγωγή) πετρελαίου μειώνεται κατά 2.150.000 βαρέλια ετησίως. Η ηλεκτρική κατανάλωση μειώνεται κατά 799.000.000 kWh (ανά έτος).

Σήμερα στις ΗΠΑ υπάρχουν περισσότερες από 900.000 εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν την αβαθή γεωθερμία. Μερικά από τα ευεργετικά αποτελέσματα συνοψίζονται παρακάτω:

- Μείωση της εκπομπής CO₂ κατά 5,2 εκατομμύρια τόνους ετησίως
- Μείωση της κατανάλωσης καυσίμων με ενεργειακό περιεχόμενο 36 τρισεκατομμυρίων Btu ετησίως.
- Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας 7.000.000.000 kWh
- Ελάττωση της ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος κατά 2.300.000 kW.

Η τεχνολογία Enercret

Η Αυστριακή εταιρεία **nägele** δραστηριοποιείται στον χώρο της αβαθούς γεωθερμίας από το 1980. Χρησιμοποιεί την καινοτόμο και πολλά υποσχόμενη τεχνολογία **enercret** η οποία είναι γνωστή με το όνομα **solid absorber technology** (τεχνολογία στερεάς απορρόφησης) που αργότερα μετονομάστηκε σε **concrete absorber technology** (τεχνολογία απορροφητικού σκυροδέματος). Πολλές φορές απαντάται και με την ονομασία γεωθερμική θεμελίωση (**geothermal foundations**). Η ιδιαιτερότητα (και διαφοροποίηση από τις συμβατικές) της τεχνολογίας αυτής είναι ότι **ο γεωεναλλάκτης είναι ενσωματωμένος στη βασική δομή του κτιρίου** (συγκεκριμένα στο χώρο της θεμελίωσης) είτε με την μορφή στηλών (**energy piles**) είτε με την μορφή τοιχίων (**diaphragm walls**) είτε έχει εισαχθεί απευθείας στις θεμέλιες κολώνες του κτιρίου (**energy foundations**). Αυτό επιτυγχάνεται με δύο τρόπους: είτε **με ενσωμάτωση των σωλήνων νερού** (του γεωεναλλάκτη) στα θεμέλια την ώρα της κατασκευής τους (**επί τόπου** στο υπό κατασκευή έργο - εικόνα 1), είτε με την **χρήση προκατασκευασμένων θεμελίων (precast energy piles)** τα οποία κατασκευάζονται (σύμφωνα με τις εκάστοτε προδιαγραφές και ανά περίπτωση) στο εργοστάσιο της εταιρείας και εμπεριέχουν τις απαραίτητες σωληνώσεις του γεωεναλλάκτη και στη συνέχεια μεταφέρονται και τοποθετούνται στο έργο. Και στις δύο περιπτώσεις το αποτέλεσμα είναι το ίδιο, και η απαγωγή της υπεδαφικής θερμότητας γίνεται απ' ευθείας από τα θεμέλια χωρίς να γίνεται ξεχωριστή εγκατάσταση.

Η χρήση προκατασκευασμένων θεμελίων εφαρμόζεται κυρίως σε μικρότερα κτίρια (κυρίως ιδιωτικές κατοικίες) λόγω του μεγέθους. Στις άλλες περιπτώσεις (μεγάλα κτίρια, σχολεία, εμπορικά κέντρα κλπ) εφαρμόζεται η επί τόπου τοποθέτηση.



Εικόνα 1

Στοιχεία προκατασκευασμένων θεμελίων

Διαθέσιμα / τυποποιημένα μεγέθη

Διαστάσεις στήλης	Μέγιστο Μήκος	Αντοχή
30/30 cm	13 m	700 kN
35/35 cm	13 m	1000 kN
40/40 cm	14 m	1400 kN
30/30 cm (με σφηνοειδή απόληξη-«καρφώνεται» στο έδαφος)	8 m	Διαφέρει ανάλογα με το έδαφος
40/40 cm (με σφηνοειδή απόληξη-«καρφώνεται» στο έδαφος)	13 m	Διαφέρει ανάλογα με το έδαφος

Το μήκος των σωληνώσεων στο εσωτερικό των θεμελίων στηλών μπορεί να φτάσει τα 28 m (στην περίπτωση που το μήκος του θεμελίου είναι 14 m).

Δείγματα εφαρμογής τεχνολογίας Enercret

Norddeutsche Landesbank



Το κτίριο αυτό βρίσκεται στην πόλη Ανόβερο της Γερμανίας. Χρησιμοποιεί ενεργειακό σύστημα για ψύξη και θέρμανση, το οποίο βασίζεται σε **Ενεργειακούς πυλώνες** (στήλες) και η διασπορά της θερμότητας γίνεται με **θερμοενεργή οροφή**.

Η υπεδαφική θερμότητα απορροφάται διαμέσου των θεμελίων από νερό το οποίο μεταφέρεται μέσω σωληνώσεων ενσωματωμένων στις κολώνες των θεμελίων του κτιρίου. Όταν υπάρχει ανάγκη ψύξης η θερμοκρασία του υπεδάφους (13°C) χρησιμοποιείται άμεσα, ενώ για την θέρμανση μεσολαβεί μία αντλία θερμότητας.

Το έργο αποτελείται από 122 πυλώνες (στήλες) σκυροδέματος διαμέτρου 90 cm και μήκους 20 m. Το όλο σύστημα αποτελείται από 37000 m σωληνώσεων. Οι πυλώνες κατασκευάστηκαν επί τόπου λόγω του μεγέθους τους.



Εικόνα 2

Για να επιτευχθεί η θέρμανση/ψύξη των δωματίων του κτιρίου, το νερό κυκλοφορεί διαμέσου μονάδων απορρόφησης οι οποίες βρίσκονται στις οροφές και συνδέονται μέσω σωλήνων ενσωματωμένων στο σκυρόδεμα της οροφής (εικόνα 2). Οι συνολικά οκτώ (8) πλάκες των ορόφων του κτιρίου περιέχουν 505 μονάδες απορρόφησης αποτελούμενες από 77000 m σωληνώσεων.

Συγκεντρωτικά στοιχεία της εγκατάστασης **enercret** του κτιρίου

Δυνατότητα ψύξης	350 kW
Δυνατότητα θέρμανσης	150 kW
Ετήσια παραγωγή ψύξης	80 MWh
Ετήσια παραγωγή θέρμανσης	80 MWh

Pago



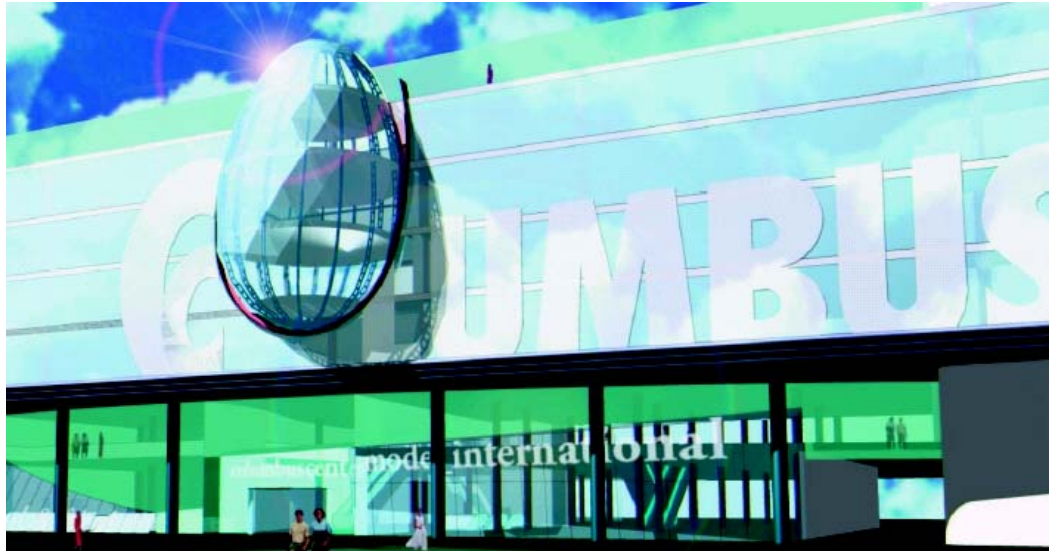
Το κτίριο αυτό είναι ένα εργοστάσιο παραγωγής ετικετών (Labeling factory) το οποίο βρίσκεται στην πόλη Grabs της Ελβετίας.

Για την υλοποίηση της τεχνολογίας enercret χρησιμοποιήθηκαν 570 προκατασκευασμένοι ενεργειακοί πυλώνες από σκυρόδεμα ενισχυμένο με ατσάλι, οι οποίοι έχουν διαμέτρου 40 cm. Οι ενσωματωμένοι στους πυλώνες σωλήνες έχουν εξωτερική διάμετρο 20 cm, το δε συνολικό μήκος των σωληνώσεων ανέρχεται στα 95000 m.

Συγκεντρωτικά στοιχεία της εγκατάστασης **enercret** του κτιρίου:

Δυνατότητα ψύξης	520 kW
Δυνατότητα θέρμανσης	520 kW

Columbus Center



Εμπορικό κέντρο στην πόλη Βιέννη της Αυστρίας.

Συγκεντρωτικά στοιχεία του κτιρίου:

Συνολικό εμβαδόν	45000 m ²
Εμβαδόν χώρου καταστημάτων	16000 m ²
Εμβαδόν χώρου γραφείων	7000 m ²
Εμβαδόν χώρου υπόγειας στάθμευσης (parking)	700 m ²

Χρησιμοποιήθηκαν 300 ενεργειακοί πυλώνες διαμέτρου 120 cm με μήκος 7 ως 12 m οι οποίοι κατασκευάστηκαν επί τόπου, και ενσωματώθηκαν στο σκυρόδεμα το οποίο είχε την μορφή τοιχίου - τεχνολογία diaphragm wall (εικόνα 3)- συνολικού εμβαδού 12400 m². Το όλο σύστημα διατρέχεται από 90000 m σωλήνων εσωτερικής διαμέτρου 25 cm.

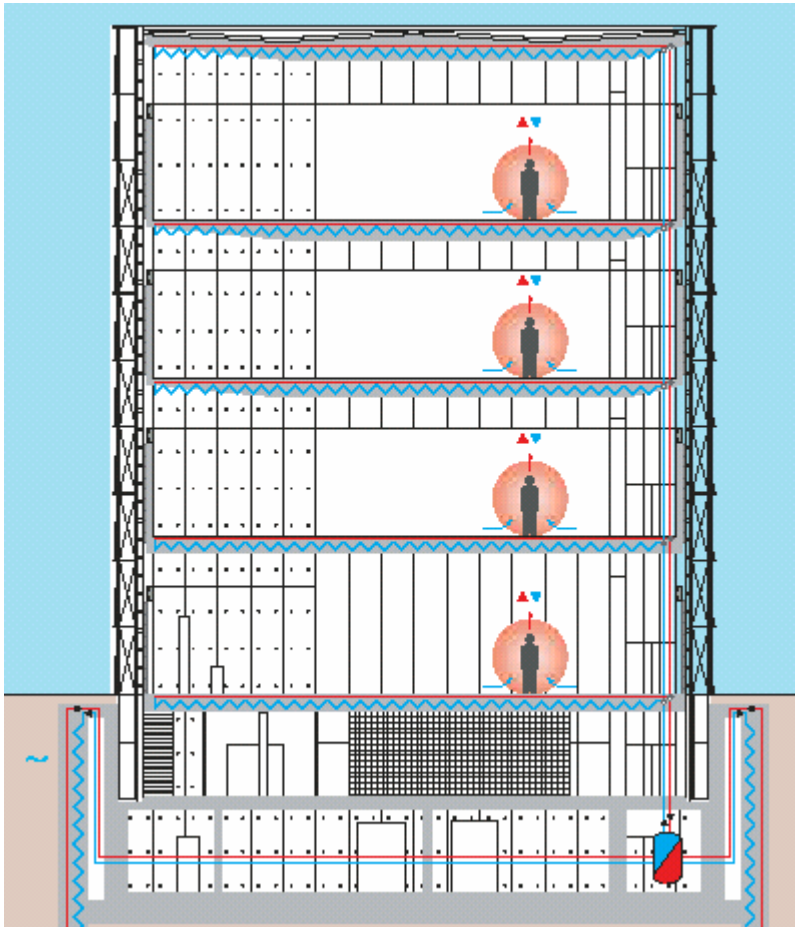


Εικόνα 3

Συγκεντρωτικά στοιχεία της εγκατάστασης **enercret** του κτιρίου

Δυνατότητα ψύξης	1400 kW
Δυνατότητα θέρμανσης	1200 kW
Ετήσια παραγωγή ψύξης	1670 MWh
Ετήσια παραγωγή θέρμανσης	660 MWh

Bregenz Arts Centre



Το κτίριο στεγάζει το Κέντρο Τεχνών της πόλης Bregenz της Αυστρίας. Χρησιμοποιήθηκε τεχνολογία diaphragm wall (για το γεωεναλλάκτη) σε συνδυασμό με οροφές από σκυρόδεμα ενισχυμένο με ατσάλι.

Οικονομικά στοιχεία σύγκρισης της εγκατάστασης **enercret** του κτιρίου με συμβατική μέθοδο θέρμανσης-ψύξης.

	Enercret	Συμβατική μέθοδος
Κόστος εγκατάστασης για θέρμανση και ψύξη	880.000 €	2.480.000 €
Ετήσιο κόστος λειτουργίας για θέρμανση	5.100 €	5.100 €

		Enercret	Συμβατική μέθοδος
Ετήσιο κόστος λειτουργίας για ψύξη	Ενεργειακό	1.820 €	13.100 €
	Συντήρηση	730 €	2.100 €
Σύνολο		2.550 €	25.200 €

Administrative Building



Εικόνα 4

Το κτιριακό αυτό συγκρότημα βρίσκεται στην πόλη Bolzano της Ιταλίας, στην περιοχή του Ν. Τυρόλου. Αποτελείται από τρία επιμέρους κτίρια επτά ορόφων με τρία επίπεδα υπογείων στο καθένα. Τα συγκεντρωτικά στοιχεία των κτιρίων είναι τα ακόλουθα:

Συνολική Επιφάνεια	38.880 m ²
Συνολικός όγκος	150.300 m ³

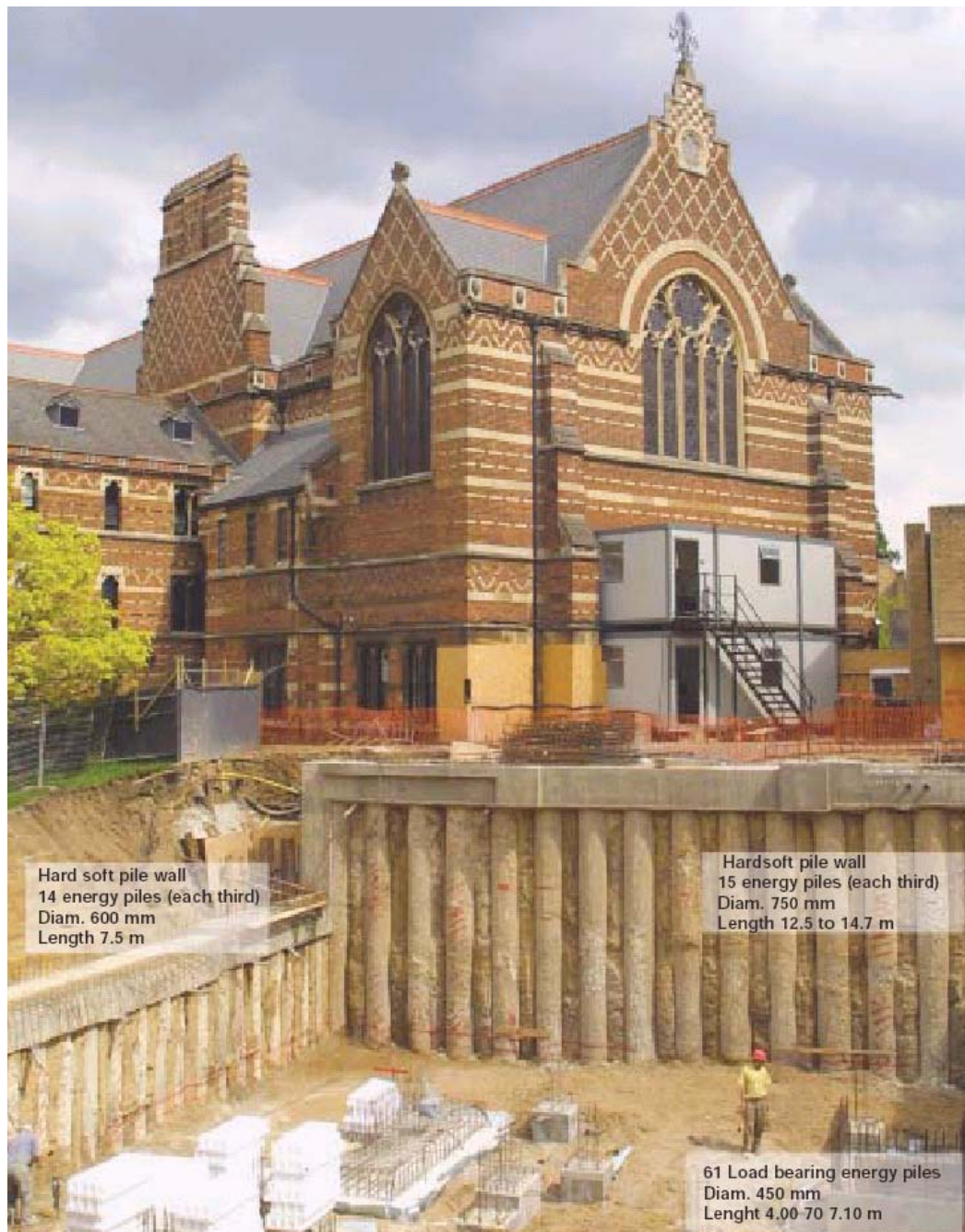
Η ολοκλήρωση της κατασκευής έγινε μέσα στο 2004.

Η κατασκευή του γεωεναλλάκτη έγινε επί τόπου. Αποτελείται από σύστημα σχήματος οριζόντιας «πλάκας» με έκταση 6000 m², στο οποίο έχουν τοποθετηθεί 110 μονάδες (23500 m σωληνώσεων διαμέτρου 25 mm) με απόσταση 30 cm μεταξύ τους. Για την μεταφορά του νερού στο κτίριο χρησιμοποιήθηκαν 340 στήλες μέσα σε χαλύβδινους σωλήνες (εικόνα 4) μήκους 15,30 m και διαμέτρου 193,7 mm. Σε κάθε σωλήνα τοποθετήθηκαν δύο βρόγχοι (loops) από τέτοιες στήλες (συνολικά 4 ανά σωλήνα). Το συνολικό μήκος των σωληνώσεων ήταν 20000 m.

Συγκεντρωτικά στοιχεία της εγκατάστασης **enercret** του κτιρίου

Δυνατότητα ψύξης	80 kW
Δυνατότητα θέρμανσης	370 kW
Ετήσια παραγωγή ψύξης	134 MWh
Ετήσια παραγωγή θέρμανσης	450 MWh

Keble College Oxford



Το κτίριο αυτό ανήκει στο Keble College το οποίο βρίσκεται Οξφόρδη της Μ. Βρετανίας. Αφορά

Για την υλοποίηση της τεχνολογίας enercret χρησιμοποιήθηκαν 15 ενεργειακοί πυλώνες διαμέτρου 750 mm και μήκους 12,5 m και 14 ενεργειακοί πυλώνες διαμέτρου 600 mm και μήκους 7,5 m, οι οποίοι τοποθετήθηκαν παράλληλα μεταξύ τους έτσι ώστε να σχηματίζουν «τοιίχους» ενεργειακών πυλώνων. Οι πυλώνες αυτοί βρίσκονται μεν στο χώρο της θεμελίωσης αλλά δεν δέχονται κανένα μέρος από το βάρος του κτιρίου, οπότε δεν αποτελούν μέρος της φέρουσας κατασκευής. Εξυπηρετούν μόνο το σύστημα του γεωεναλλάκτη. Κατασκευάστηκαν

όμως και 61 ενεργειακοί πυλώνες διαμέτρου 450 mm και μήκους 5 m, οι οποίοι φέρουν το βάρος του κτιρίου (θεμελίωση), οι οποίοι παρέχουν και στήριξη αλλά και είναι τμήμα του γεωεναλλάκτη. Οι ενσωματωμένοι στους πυλώνες σωλήνες είναι τύπου PH-HD έχουν διάμετρο 20 mm και πάχος 2 mm. Σχηματίζουν 41 βρόγχους (loops) μήκους 150 m (περιλαμβάνεται και το μέρος τους το οποίο είναι ενσωματωμένο στους ενεργειακούς πυλώνες, και το τμήμα που βρίσκεται εκτός αυτών). Το συνολικό μήκος των σωληνώσεων ανέρχεται στα 6150 m.

Συγκεντρωτικά στοιχεία των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου -τις οποίες καλύπτει η εγκατάσταση **enercret**-:

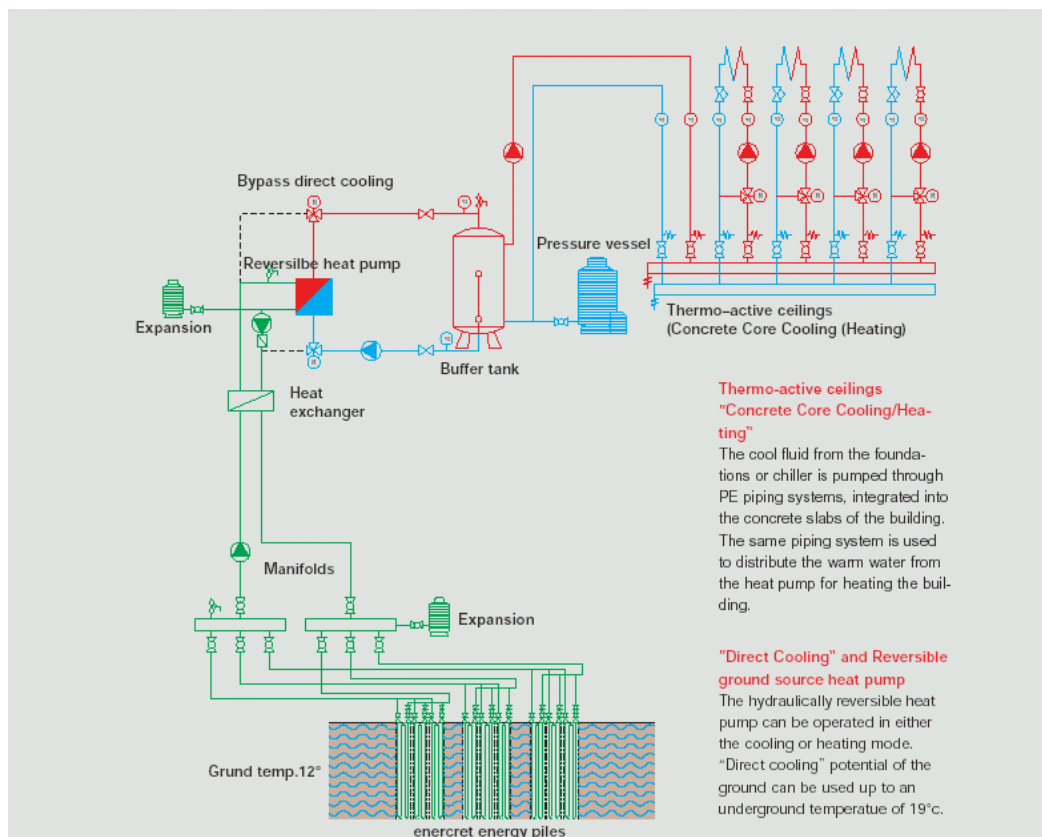
Μήνας	Απαιτήσεις σε θέρμανση		Απαιτήσεις σε ψύξη	
Ιανουάριος	16235	kWh	0	kWh
Φεβρουάριος	15045	kWh	0	kWh
Μάρτιος	10285	kWh	98	kWh
Απρίλιος	6545	kWh	851	kWh
Μάιος	1870	kWh	3925	kWh
Ιούνιος	0	kWh	10566	kWh
Ιούλιος	0	kWh	20902	kWh
Αύγουστος	0	kWh	15505	kWh
Σεπτέμβριος	0	kWh	2747	kWh
Οκτώβριος	2550	kWh	589	kWh
Νοέμβριος	8585	kWh	0	kWh
Δεκέμβριος	13600	kWh	0	kWh
Σύνολο	74715	kWh	55183	kWh

Η παρακάτω φωτογραφία -εικόνα 5- δείχνει το μεταλλικό σκελετό ενός ενεργειακού πυλώνα πριν την ενσωμάτωση του σωλήνα του γεωεναλλάκτη και πριν την πλήρωση του με σκυρόδεμα.



Εικόνα 5

Το παρακάτω σχήμα παριστά τον σχεδιασμό του συστήματος θέρμανσης-ψύξης του κτιρίου.



Παράρτημα Α

Στάδια μελέτης για εγκατάσταση Enercret

1. Παράμετροι

Γεωτεχνικές Παράμετροι

Οι γεωτεχνικές παράμετροι οι οποίες καταγράφονται στην φάση αυτή αφορούν στην διάταξη των εδαφικών στρωμάτων καθώς και στις παρακάτω μηχανικές τους ιδιότητες:

- Θερμοκρασία
- Θερμική αγωγιμότητα
- Θερμοχωρητικότητα
- Βάθος του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα
- Διεύθυνση και ταχύτητα της ροής του υπόγειου νερού (αν υπάρχουν)

Δομικές Παράμετροι

Οι δομικές παράμετροι που πρέπει να είναι διαθέσιμες κατά τον προσχεδιασμό, τους διαφόρους υπολογισμούς και την προσομοίωση μιας εγκατάστασης Enercret είναι:

- Τύπος και μέγεθος των θεμελίων (διάμετρος, μήκος, πλάτος, πυκνότητα υλικού)
- Βάθος της θεμελίωσης (σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους)
- Κάτοψη του κτιρίου η οποία παριστά την θέση των θεμελίων (πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον τα προσχέδια του υπό κατασκευή κτιρίου)

- Λεπτομέρειες των τυχόν επιμέρους ενισχύσεων της δομής του κτιρίου
- Κανονισμός πολεοδομίας που ισχύει στην εκάστοτε περιοχή

Η εγκατάσταση Enercret δεν επηρεάζει την ικανότητα, τις ιδιότητες ούτε την δομή της θεμελίωσης.

Ενεργειακές παράμετροι

Για να μπορέσει να σχεδιαστεί μια εγκατάσταση Enercret με συγκεκριμένη ενεργειακή απόδοση, θα πρέπει να είναι εκ των προτέρων γνωστές οι ενεργειακές απαιτήσεις τις οποίες θα κληθεί να καλύψει. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να είναι γνωστές οι μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις -peak demand- (για θέρμανση και ψύξη) του κτιρίου, καθώς και η μηνιαία κατανομή τους. Στην περίπτωση μάλιστα που αναμένεται να υπάρχουν και παρατεταμένες περίοδοι θέρμανσης ή και ψύξης -οι οποίες δεν θα δίνουν την δυνατότητα στο σύστημα να ισορροπεί σύντομα και να αναπληρώνει την θερμότητα που αφαιρείται ή αποδίδεται σε αυτό-, τότε θα πρέπει να υπάρχει επιπρόσθετα και πιο λεπτομερής αναφορά (σε εβδομαδιαία βάση) της κατανομής των ενεργειακών αυτών απαιτήσεων.

Φόρμες Δεδομένων

Όλα τα στοιχεία που αναφέρθηκαν καταγράφονται συγκεντρωμένα στα έντυπα φορμών 1 και 2 τα οποία συμπληρώνονται και υποβάλλονται στην εταιρεία για την εκπόνηση της προμελέτης. Δείγματα των εντύπων αυτών παρατίθενται στο τέλος του κεφαλαίου αυτού.

2. Φάσεις Σχεδιασμού

Προκαταρκτικές μελέτες

Στην φάση αυτή καθορίζεται το εάν μια εγκατάσταση Enercret είναι τεχνικά κατορθωτή και οικονομικά βιώσιμη (με βάση τα υποβληθέντα στοιχεία που αναφέρθηκαν ανωτέρω). Εδώ λαμβάνεται υπ' όψιν και η -τυχόν- προϋπάρχουσα κλιματιστική εγκατάσταση, όταν βέβαια αναφερόμαστε σε ήδη κατασκευασμένα κτίρια.

Συνήθως, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων για κτίρια με βαθιά θεμελίωση, η εγκατάσταση Enercret είναι και τεχνικά κατορθωτή αλλά και οικονομικά βιώσιμη. Οι ακόλουθες τιμές μας δίνουν μια γενική εκτίμηση των τυπικών τιμών της ενεργειακής απόδοσης που αναμένεται από διάφορα στοιχεία μιας εγκατάστασης Enercret:

Ενεργειακός πυλώνας Διάμετρος 30-50 cm	40 - 60 W/m μήκους
Ενεργειακός πυλώνας Διάμετρος >60 cm	35 W/m ² επιφάνειας η οποία βρίσκεται σ' επαφή με το έδαφος

Ενεργειακό τοιχίο (Diaphragm wall)	30 W/m ² επιφάνειας η οποία βρίσκεται σ' επαφή με το έδαφος
Εδαφική πλάκα	15 - 30 W/m ² επιφάνειας η οποία βρίσκεται σ' επαφή με το έδαφος

Οι παραπάνω τιμές διαφοροποιούνται στις περιπτώσεις όπου έχουμε υπόγεια ροή νερού, παρατεταμένες περιόδους θέρμανσης - ψύξης, χαμηλή θερμοχωρητικότητα και χαμηλή θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων του υπεδάφους.

Σχεδιασμός σωληνώσεων

Στην φάση αυτή εκπονείται ο μηχανολογικός σχεδιασμός της διάταξης των σωληνώσεων.

Σχεδιασμός εγκατάστασης (κατασκευής)

Στην φάση αυτή σχεδιάζεται ο τρόπος τοποθέτησης του εξοπλισμού στο κτίριο. Η όλη διαδικασία χωρίζεται σε διάφορα στάδια και λαμβάνονται υπ' όψιν τυχόν ακραίες συνθήκες. Επίσης γίνονται δοκιμές του προς εγκατάσταση εξοπλισμού πριν την τοποθέτησή του, ώστε να διαπιστωθούν τυχόν δυσλειτουργίες ή παραλήψεις και να διορθωθούν πριν την μεταφορά στο έργο.

Προσομοίωση

Στην φάση αυτή γίνεται η τελική δοκιμή βάσει όλων των προηγούμενων στοιχείων, παραμέτρων και προσχεδίων. Με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού γίνεται προσομοίωση της συνολικής εγκατάστασης Enercret σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, και αφού εξαχθούν διάφορα αποτελέσματα, αξιολογούνται, και στην συνέχεια βγαίνουν τα τελικά συμπεράσματα, γίνονται οι κατάλληλες διορθώσεις ή συμπληρώσεις (αν υπάρχουν) και το έργο περνά στην φάση της κατασκευής ακολουθώντας την πορεία που έχει αποτυπωθεί στην προηγούμενη φάση (σχεδιασμός εγκατάστασης).

Δείγματα εντύπων (φορμών) για εκπόνηση μελέτης εγκατάστασης Enercret

Παράρτημα Β

Ορολογία - Προδιαγραφές

Βασικά χαρακτηριστικά για την μέτρηση, απόδοση και σύγκριση των αντλιών θερμότητας και άλλων συστημάτων θέρμανσης-ψύξης:

COP = Coefficient Of Performance

$$COP = \frac{E_u}{E_a}$$

Συντελεστής απόδοσης: ορίζεται ως το πηλίκο της «χρήσιμης» ενέργειας E_u που αποδίδει μια αντλία θερμότητας προς την ενέργεια που απαιτεί για να λειτουργήσει E_a (καταναλισκόμενη ενέργεια). Για τον υπολογισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας μπορεί (δεν συμβαίνει όμως πάντα) να περιλαμβάνεται και αυτή που απαιτείται για την λειτουργία της αντλίας κυκλοφορίας του ψυκτικού υγρού, τυχόν ανεμιστήρων ή και άλλων κινητών μερών της αντλίας θερμότητας. Στην περίπτωση της ψύξης ως αποδιδόμενη ενέργεια λαμβάνεται η ενέργεια που απορροφά (κατά την ψύξη) η αντλία. Ο συντελεστής απόδοσης μπορεί να υπολογιστεί και σαν το πηλίκο των αντίστοιχων ισχύων (αποδιδόμενη θερμική ισχύς σε Btu/hr προς καταναλισκόμενη ισχύς ηλεκτρικού ρεύματος σε watt) με την μετατροπή των αντιστοίχων μονάδων (Btu/hr σε watt).

EER = Energy Efficient Ratio

$$EER = \frac{E_c}{E_a} \quad \begin{aligned} EER &= COP \times 3,412 \\ COP &= \frac{EER}{3,412} \end{aligned}$$

Το χαρακτηριστικό αυτό αναφέρεται σε συστήματα ψύξης. Ορίζεται ως το πηλίκο της «ψυκτικής ισχύος» (της ενέργειας σε Btu που μπορεί να αφαιρέσει η ψυκτική μηχανή από ένα χώρο σε 1 ώρα), προς το σύνολο της ηλεκτρικής ισχύος που απαιτείται για το σκοπό αυτό (σε watt). Στην

ισχύ που απαιτείται περιλαμβάνεται και όση χρειάζεται για την λειτουργία του συμπιεστή, της αντλίας κυκλοφορίας του ψυκτικού υγρού, και ανεμιστήρες.

Για να υπολογιστούν οι συντελεστές COP και EER για τις διάφορες αντλίες θερμότητας (κατασκευής ΗΠΑ), οι μετρήσεις γίνονται με βάση τις εξής θερμοκρασίες νερού εισόδου (στην αντλία):

Για τα συστήματα με γεωεναλλάκτη ανοικτού τύπου οι θερμοκρασίες εισόδου είναι 21,1° C (70° F) για την ψύξη και 10° C (50° F) για την θέρμανση.

Για τα συστήματα με γεωεναλλάκτη κλειστού τύπου οι θερμοκρασίες εισόδου είναι 25° C (77° F) για την ψύξη και 0° C (32° F) για την θέρμανση.

Είναι φανερό ότι οι προδιαγραφές αυτές είναι ιδιαίτερα αυστηρές, και σε συνθήκες συνθήκες (π.χ. για την Ελλάδα όπου η θερμοκρασία εισόδου του νερού θα είναι γύρω στους 18° C) οι αντλίες θερμότητας αναμένεται να λειτουργούν πολύ πιο αποδοτικά.

Btu = British thermal unit

Μονάδα μέτρησης της θερμότητας (ενέργειας) στο αγγλοσαξωνικό σύστημα.

$$1 \text{ Btu} = 0,252 \text{ kcal} = 0,293 \text{ wh}$$

Ενδεικτικές τιμές για διάφορες γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Τα ακόλουθα στοιχεία έχουν δημοσιευθεί από το American Refrigeration Institute στον κατάλογο που εξέδωσε το 1996.

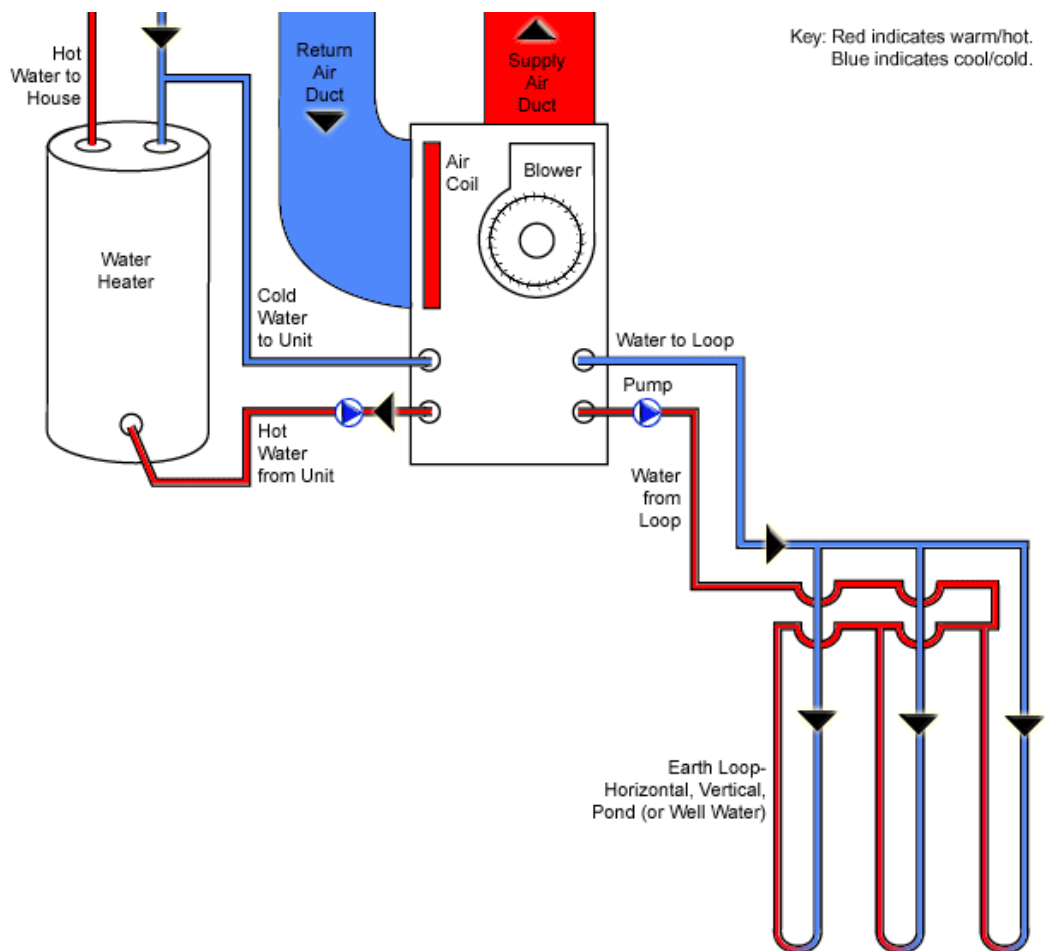
Για Θέρμανση (Heating)		COP				
	Tons:	2	3	3.5	4	5
Addison G		3, 1	3, 1	3	3, 1	2, 9
Bard		3	3	2, 8	2, 7	2, 5
Carrier		3	3	2, 8	3	2, 6
Carrier GT		3	3	2, 8	3	2, 6
Carrier GTX		–	3, 5	3, 8	3, 7	3, 4
Climate Master Classic (P)		3, 4	3, 2	3, 2	3, 2	3, 2
Climate Master Geo-Thermal (E)		3	3	2, 8	3	2, 6
Climate Master Ultra TR		–	3, 5	3, 8	3, 7	3, 4

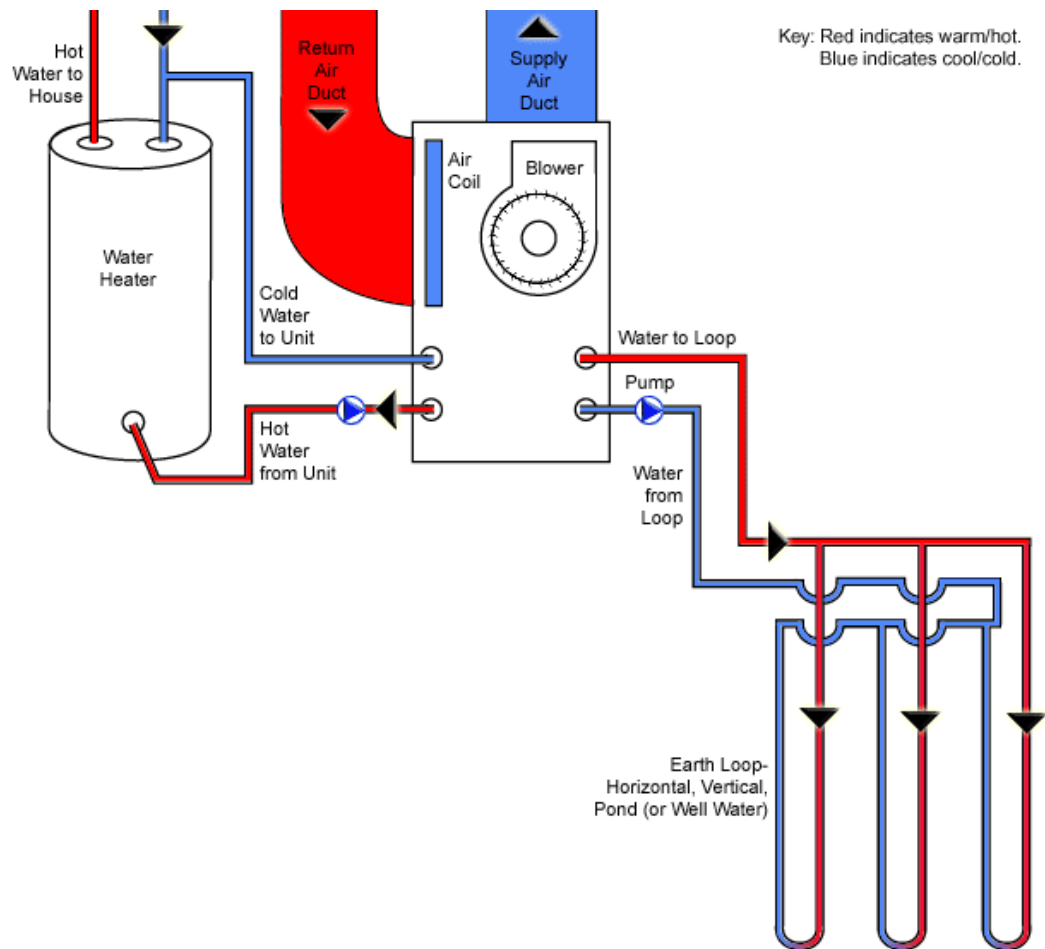
Για Θέρμανση (Heating)		COP				
	Tons:	2	3	3.5	4	5
Command Aire		2, 9	3, 1	2, 9	3, 1	2, 9
ECONAR		3, 4	3, 2	3	3	3, 1
FHP Geo-Miser Single		3, 3	3, 4	3, 4	3, 4	-
FHP Geo-Thermal		3, 1	3, 1	3, 3	3	3, 1
FHP GT 3000		-	2, 4	-	2, 4	-
Heat Controller		3, 1	3, 1	3	3, 1	2, 9
Hydro Delta Hydro Heat		3, 1	3, 3	3, 2	3, 1	3, 2
Mammoth		3, 1	3, 1	3	3, 1	2, 9
Millbrook Hydron Module		3, 2	3, 4	3, 3	3, 3	3, 4
TETCO		3, 3	3, 2	3, 1	3, 1	3
Trane		2, 9	3, 1	3	3, 1	2, 9
WaterFurnace Premier AT		3, 4	3, 3	3, 4	3, 3	3, 2
WaterFurnace Spectra (SX)		3, 3	3, 2	3, 3	3, 1	3, 1
WaterFurnace Northen Ldr.		2, 7	2, 7	-	-	-

Για Ψύξη (Cooling)		EER				
	Tons:	2	3	3.5	4	5
Addison G		14, 1	14, 6	14, 2	14, 3	13
Bard		13	12, 5	11, 5	11, 5	11, 5
Carrier		11, 5	11, 2	11, 3	10, 9	10, 6
Carrier GT		11, 5	11, 2	11, 3	10, 9	10, 6
Carrier GTX		-	16, 2	17, 5	16, 6	14, 3
Climate Master Classic (P)		-	13, 8	13, 2	13, 5	13
Climate Master Geo-Thermal (E)		11, 5	11, 2	11, 3	10, 9	10, 6
Climate Master Ultra TR		-	16, 2	17, 2	16, 6	14, 3
Command Aire		15, 6	16, 1	15	16	13, 9
ECONAR		14, 5	13, 8	13, 4	12, 4	11, 9
FHP Geo-Miser Single		16, 6	15, 4	15, 7	-	-
FHP Geo-Thermal		13, 4	14, 3	13, 5	13	13
FHP GT 3000		-	12, 5	-	12, 1	11
Heat Controller		14, 1	14, 6	14, 4	14, 2	13

Για Ψύξη (Cooling)		EER				
	Tons:	2	3	3.5	4	5
Hydro Delta Hydro Heat		13	13, 2	13, 1	13, 1	13
Mammoth		13, 8	14	13, 4	13, 4	13, 1
Millbrook Hydron Module		13, 5	13, 6	13	13, 1	13
TETCO		13, 8	13, 6	13, 6	13, 3	13
Trane		15, 6	16, 1	15	16	13, 9
WaterFurnace Premier AT		16, 8	16	17	16, 1	15
WaterFurnace Spectra (SX)		15, 5	13, 6	13, 9	13, 9	13, 4
WaterFurnace Northen Ldr.		14, 1	14	-	-	-

Σχεδιαγράμματα





Βιβλιογραφία

1. Ι.Παπαγεωργάκης, Οκτώβριος 1993. "Η πρώτη στην Ελλάδα κατοικία με γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού", Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
2. Kevin Rafferty, April 1997. "An Information Survival Kit for the prospective residential geothermal heat pump owner", GeoHeat Center Bulletin, Oregon Institute of Technology, Oregon.
3. Ν.Κυριακής, Α.Μιχόπουλος, Κ.Πάτιας, 2002. «Πρώτος Χρόνος Λειτουργίας του Γεωεναλλάκτη Πυλαίας. Ενεργειακή Αξιολόγηση», Τεχν.Χρον.Επιστ.Εκδ.ΤΕΕ, IV, τευχ. 1-2.
4. Geothermal Heat Pump Consortium, GB-019, "Geoexchange Systems: Renewable and Ready", **www.geoexchange.org/documents/GB-019.pdf**
5. Geothermal Heat Pump Consortium, GB-003, "GeoExchange Heating and Cooling Systems: Fascinating Facts", **www.geoexchange.org/documents/GB-003.pdf**
6. Geothermal Heat Pump Consortium, GB-010, "Comparing Heating systems", **www.geoexchange.org/documents/GB-010.pdf**
7. Geothermal Heat Pump Consortium, GB-034, "Outstanding Home Comfort Through Advanced Technology", **www.geoexchange.org/documents/GB-034.pdf**
8. Geothermal Heat Pump Consortium, RP-024, "Maintenance & Service Costs in Commercial Building Geothermal Systems", **www.geoexchange.org/pdf/RP-024.pdf**

9. Geothermal Heat Pump Consortium, CS-017, "White Horse Village, Pennsylvania",
www.geoexchange.org/pdf/CS-017.pdf
10. Geothermal Heat Pump Consortium, CS-010, "Waterfront Office Building, Louisville, KY",
www.geoexchange.org/pdf/CS-017.pdf
11. Geothermal Heat Pump Consortium, CS-089, "Energy Star Home, Sandusky, OH",
www.geoexchange.org/pdf/CS-089.pdf
12. EPA, Space Conditioning: The Next Frontier, Office and Air Radiation, 430-R-93-004 (4/93)
13. Κ.Σ.Τσίππρας, «Η Γεωθερμική θέρμανση»,
www.tsipiras.gr
14. Ε.Τσίγκας, «Γεωθερμία στα κτίρια»,
www.ktirio.gr/gr/_dynoP/articles/arthra_det.asp?KATEGORY_CO DE=23&ARTHRO_NAME=110-57.TXT
15. Gene Culver, Gordon M. Reistad, «EVALUATION AND DESIGN OF DOWNHOLE HEAT EXCHANGERS FOR DIRECT APPLICATION», **<http://geoheat.oit.edu/pdf/tp7.pdf>**
16. Gordon Gene Culver, Gordon M. Reistad, "TESTING AND MODELING OF DOWNHOLE HEAT EXCHANGERS IN SHALLOW GEOTHERMAL SYSTEMS", Geo-Heat Center, Oregon State University, OR. **<http://geoheat.oit.edu/pdf/tp8.pdf>**
17. John W. Lund, "GEOTHERMAL HEAT PUMPS - TRENDS AND COMPARISONS -", Geo-Heat Center,
<http://geoheat.oit.edu/pdf/tp88.pdf>
18. Kevin D. Rafferty, "PIPING", Geo-Heat Center, Klamath Falls, Oregon.
<http://geoheat.oit.edu/pdf/tp55.pdf>
19. Steve Kavanaugh, "ENERGY AND DEMAND STUDY OF HEATING AND COOLING EQUIPMENT Air-Conditioners, Furnaces, Air Heat Pumps, and Ground Source Heat Pumps", Mechanical Engineering Department, The University of Alabama.
<http://geoheat.oit.edu/pdf/tp80.pdf>
20. Paul J. Lienau, Tonya L. Boyd, Robert L. Rogers, April 1995, "GROUND-SOURCE HEAT PUMP CASE STUDIES AND UTILITY PROGRAMS", Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology. **<http://geoheat.oit.edu/pdf/hp1.pdf>**
21. Tonya L. Boyd and Paul J. Lienau, "GEOTHERMAL HEAT PUMP PERFORMANCE", Geo-Heat Center, Oregon

Institute of Technology, Klamath Falls, OR.
<http://geoheat.oit.edu/pdf/tp64.pdf>

22. ENERCRET Thermo-active Foundations, "Planning Aspects",
http://www.enercret.com/image/deutsch/download/english/beschreibungen/enercret_thermo_active_foundations_planning_aspects.pdf
23. ENERCRET Thermo-active Foundations, "System Description",
http://www.enercret.com/image/deutsch/download/english/beschreibungen/enercret_thermo_active_foundations_system_description.pdf
24. ENERCRET Thermo-active Foundations, "Installation Description",
http://www.enercret.com/image/deutsch/download/english/beschreibungen/enercret_thermo_active_foundations_installation_description.pdf
25. ENERCRET Thermo-active Foundations, "Thermoactive Foundations",
http://www.enercret.com/image/deutsch/download/english/prospekte/thermoactive_foundations.pdf
26. ENERCRET Thermo-active Foundations, "Precast Energy Piles",
http://www.enercret.com/image/deutsch/download/english/projektblaetter/oesterreich/precast_energy_piles.pdf
27. ENERCRET Thermo-active Foundations, "Columbus Centre Vienna",
http://www.enercret.com/image/deutsch/download/english/projektblaetter/oesterreich/columbus_centre_vienna.pdf
28. ENERCRET Thermo-active Foundations, "Bregenz Arts Centre",
http://www.enercret.com/image/deutsch/download/english/projektblaetter/oesterreich/bregenz_arts_centre.pdf
29. ENERCRET Thermo-active Foundations, "Administrative Building Bolzano",
http://www.enercret.com/image/deutsch/download/english/projektblaetter/italien/administrative_building_bolzano.pdf
30. ENERCRET Thermo-active Foundations, "Keble College Oxford",
http://www.enercret.com/image/deutsch/download/english/projektblaetter/grossbritannien/keble_college_oxford.pdf
31. ENERCRET Thermo-active Foundations, "Pago",
http://www.enercret.com/image/deutsch/download/english/projektblaetter/schweiz_fl/pago_grabs.pdf

32. ENERCRET Thermo-active Foundations, "Norddeutsche Landesbank",
http://www.enercret.com/image/deutsch/download/english/projektblaetter/deutschland/norddeutsche_landesbank.pdf

Διευθύνσεις Παγκόσμιου ιστού

Geothermal Heat Pump Consortium	www.geoexchange.org
Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology	http://geoheat.oit.edu/index.htm
Enercret	www.enercret.com
International Geothermal Association	http://iga.igg.cnr.it/index.php
Waterfurnace	www.waterfurnace.com www.waterfurnace.gr
ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ	www.geoerevna.gr
	www.spitia.gr/greek/eksoplismos/oikologika_ilika/enalaktikithermansia.htm
	www.tee.gr/magazines/tech-mag/teuxos6/psixi.shtml
The Certified GeoExchange Designer (CGD) Program	http://www.aeecenter.org/certification/CGDpage.htm
	www.ashrae.org

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α





Υποχώρηση του εδάφους κατάντη της Εθνικής Οδού στο νότιο τμήμα της κατολίσθησης.





Κοντινή άποψη του πρανούς στο ανατολικό τμήμα της κατολίσθησης.



Αποψη του κεντρικού τμήματος της κατολίσθησης.



Αποψη σχηματισμών βόρεια της κατολίσθησης.



Υποχώρηση του εδάφους στο βόρειο τμήμα της κατολίσθησης.









Ανατολικό τμήμα κατολίσθησης.



Άποψη σχηματισμών κατάντη της Εθνικής Οδού.



Άποψη του πρανούς στη δυτική πλευρά της κατολίσθησης.



Μερική εικόνα της κατολίσθησης.

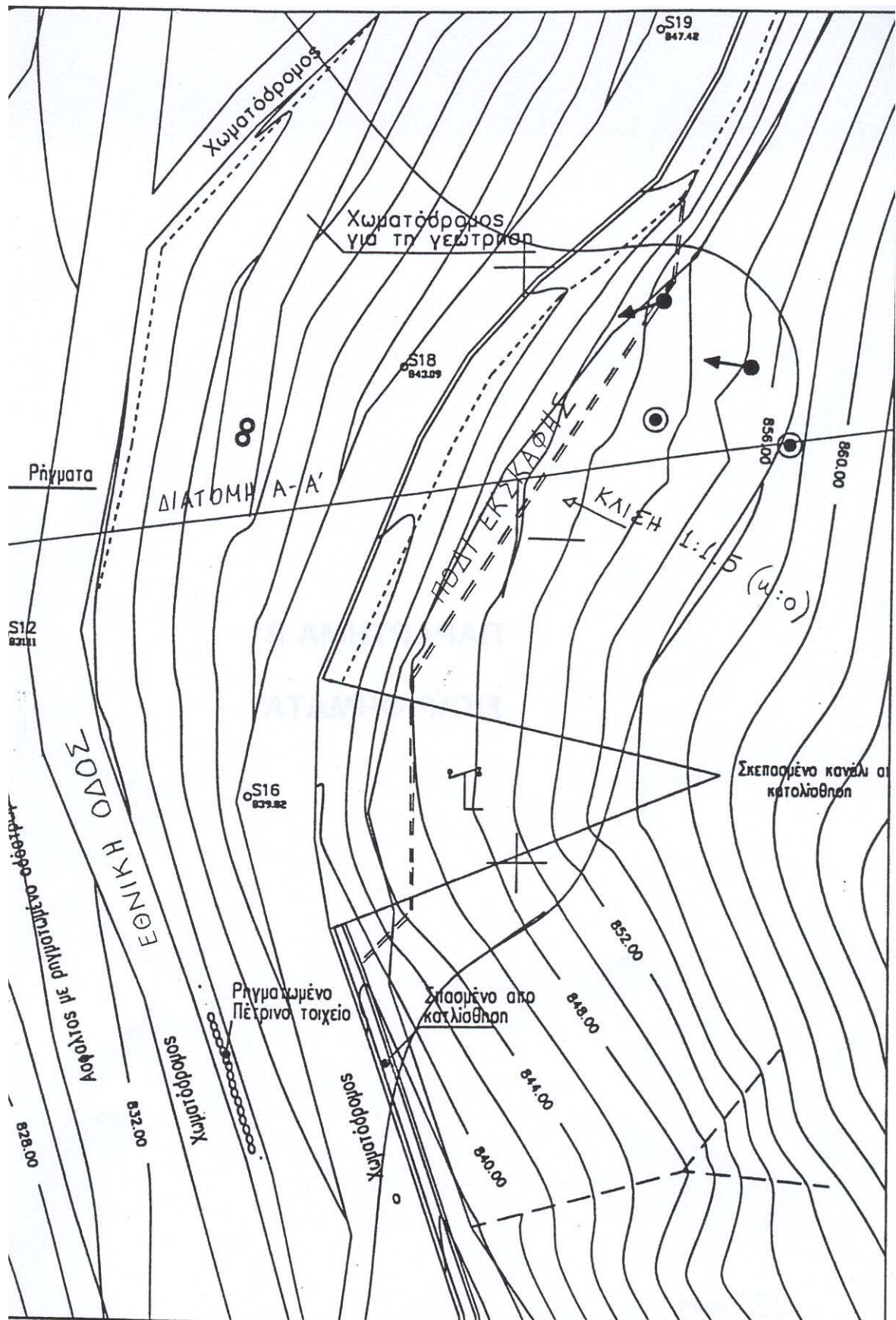


Μία από τις θέσεις με σημαντική ροή επιφανειακών προς τη σπασμένη τάφρο του αγροτικού δρόμου.



Η κατασκευαζόμενη επενδεδυμένη τάφρος για την απαγωγή των υδάτων από το υπάρχον τεχνικό.





Σχήμα 1: Σκαρίφημα προσωρινής εκσκαφής προς υλοποίηση (Κλ. 1:500)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

















6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γεωλογικό Γραφείο "Η ΓΑΙΑ". Ναύπακτος.
Έδαφος Ε.Π.Ε., 2000-2001, Υπερείδου 9, Αθήνα
Ε.Ε.Τ.Α.Α., 1998. Μελέτη Εξεύρεσης Χ.Υ.Τ.Α. για την περιοχή Αγρινίου, Αθήνα.
Καλλέργης, Γ., 1992. Οικολογική Χωροταξική Μελέτη των Χαρακτηριστικών Οικοσυστημάτων Λιμνών Αιτωλοακαρνανίας, ΥΠΕΧΩΔΕ, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
Λέκκας, Ε., 1996. Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές, Αθήνα.
Λέκκας, Ε., 1995-1997. Νεοτεκτονικός Χάρτης Αιτωλίας – Ακαρνανίας, Αθήνα.
Λεοντάρης, Σ., 1967. Γεωμορφολογικές Έρευνες επί της λεκάνης των Αιτωλοακαρνανικών λιμνών.
Μουντράκης, Δ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδας, Θεσσαλονίκη.
Παναγιωτίδης, Γ., 1963. Έκθεση γεωλογικής αναγνώρισης κατολισθήσεων περιοχών νομού Αιτωλοακαρνανίας. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.
Ορυκτός Πλούτος, 2001. Τεύχη (118,120), Αθήνα..
Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, 1984. Πρόγραμμα Αναγνώρισης του φυσικού περιβάλλοντος της χώρας Νομός Αιτωλοακαρνανίας.

www.akarnania.net

<http://www.aitoloakarnania.gr/>

<http://www.itia.ntua.gr/filotis/>

www.landslides.usgs.gov

www.google.com.gr